



SÂMELA CAROLYNE GOMES DE OLIVEIRA

Licenciada em Ciências da Engenharia Civil

**ASSENTAMENTO DE FUNDAÇÕES
RÍGIDAS TRIDIMENSIONAIS EM MEIO COM
RIGIDEZ VARIÁVEL EM PROFUNDIDADE**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil - Perfil de Geotecnia

Orientador: Professor Doutor Armando Manuel Sequeira
Nunes Antão, Faculdade de Ciências e Tecnologias –
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Paulina S. F. Rodrigues
Arguente: Prof. Doutora Maria Teresa T. G. Santana
Vogal: Prof. Doutor Armando Manuel Sequeira Nunes Antão



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

[Dezembro, 2016]

Copyright © Sâmela Carlyne Gomes de Oliveira, FCT/UNL e UNL.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por tudo. Agradeço aos meus pais e aos meus irmãos por sempre acreditarem em mim, me ajudando sempre. Agradeço aos meus amigos de curso pelo companheirismo que tornaram esse percurso mais agradável. Agradeço também ao meu orientador pelo apoio no presente trabalho.

Resumo

O presente trabalho estuda o tema do assentamento pseudo-elástico de sapatas rígidas tridimensionais em solo de comportamento com rigidez variável em profundidade.

Neste estudo foi considerado um solo isotrópico e heterogéneo. Com módulo de deformabilidade aumentando linearmente com a profundidade. A grande diferença deste trabalho com os existentes é o fato de modelar sapatas tridimensionais sobre um solo heterogéneo. Para tal utiliza-se um programa de elementos finitos desenvolvido no DEC da FCT/UNL chamado Mechpy.

Com o intuito de abranger casos de interesse prático, o estudo foi feito em sapatas corridas e retangulares em que suas características geométricas e coeficiente de Poisson foram variados. Foi ainda definido um coeficiente de heterogeneidade do solo que foi implementado na equação do módulo de deformabilidade para solos heterogéneos.

Os resultados obtidos foram validados com resultados existente na literatura, no caso de solo homogéneo e heterogéneo. Esta validação mostrou-se satisfatória.

Ao longo do estudo, com os resultados de assentamento pseudo-elástico calculados através do programa de computador para diversas sapatas rígidas, foi calculado o fator de influência de assentamento e a profundidade equivalente a que corresponde para um mesmo módulo de deformabilidade no solo homogéneo o mesmo assentamento que no heterogéneo.

Finalmente apresenta-se um caso de aplicação do trabalho onde se constata a possibilidade de cálculo de assentamento a solos heterogéneos sem necessidade de se recorrer à utilização de um programa de elementos finitos tridimensional.

Palavras-chaves: Assentamento pseudo-elástico; Heterogeneidade; Tridimensional; Módulo de deformabilidade;

Abstract

The present work studies the subject of pseudo-elastic settlement of rigid three-dimensional foundations in soil with variable rigidity in depth.

In this study, an isotropic and heterogeneous soil was considered. With the deformability modulus increasing linearly with depth. The great difference of this work with the existing ones is the fact of modeling three-dimensional foundations on a heterogeneous soil. For this, a finite element program developed in the FCT / UNL DEC called Mechpy is used.

In order to cover practical interest cases, the study was made in a strip and rectangular foundations in which its geometric characteristics and Poisson coefficient were varied. A coefficient of soil heterogeneity was also defined, that was implemented in the deformability modulus equation for heterogeneous soils.

The results obtained were validated with results in an existing literature, in the case of homogeneous and heterogeneous soil. This validation was satisfactory.

Throughout the study, with the results of pseudo-elastic settlement calculated through the computer program for several rigid foundations, the influence factor of settlement was calculated and the depth equivalent to that corresponds for a same deformability modulus in the homogeneous soil the same settlement as heterogeneous.

Finally, a study case is presented, where it is possible to estimate the settlement of heterogeneous soils without the use of a three-dimensional finite element program.

Keywords: Pseudo-elastic settlement; Heterogeneity; Three-dimensional; Deformability modulus;

Índice

1 Introdução	1
1.1 Motivação e Objetivos	1
1.2 Organização do Trabalho	2
2 Apresentação do Problema	5
2.1 Introdução	5
2.2 Considerações Gerais	5
2.3 Assentamento Pseudo-elástico	5
2.3.1 Sapata Corrida Flexível	6
2.3.2 Sapata Corrida Rígida	8
2.3.3 Comparação entre Sapata Flexível e Rígida	8
2.3.4 Sapata Retangular Flexível	10
2.3.5 Sapata Retangular Rígida	14
2.4 Formulações com Módulo de Deformabilidade Variável	17
3 Metodologia de Resolução	19
3.1 Introdução	19
3.2 Definição dos modelos	20
3.2.1 Sapata Corrida	20
3.2.2 Sapata Retangular	21
3.3 Estudo da Dimensão da Malha e Comprimento do Solo	23
3.4 Validação dos Resultados para Solo Homogéneo	28
3.4.1 Sapata Corrida	28
3.4.2 Sapata Retangular	29
3.5 Validação dos Resultados para Solo Heterogéneo	30
4 Resultados	33
4.1 Introdução	33
4.2 Considerações Gerais	33
4.3 Sapata Corrida Rígida	36
4.4 Sapata Retangular Rígida	39
5 Discussão dos Resultados	43
5.1 Sapata Corrida Rígida	43
5.2 Sapata Retangular Rígida	43
Conclusão	49
Bibliografia	51
Anexo	53

Índice de Figuras

Figura 1.1 Assetamento pseudo-elástico de fundações rígidas	2
Figura 2.1 Geometria do problema da sapata corrida	7
Figura 2.2 Distribuição do fator I_w dentro e fora da sapata com $H/B=5$; (Milovic, 1992)	9
Figura 2.3 Gráfico do fator I_w em função da rigidez relativa com $H/B=5$; (Milovic, 1992).....	9
Figura 2.4 Sapata flexível retangular	10
Figura 2.5 Geometria do problema de sapata retangular	11
Figura 2.6 Evolução do fator I_w ; sapata retangular flexível, $L/B=2$	12
Figura 2.7 Assentamento pseudo-elástico de fundações rígidas e flexíveis	12
Figura 2.8 Evolução do fator I_w da sapata retangular rígida com $\nu=0,3$; (Milovic, 1992).....	15
Figura 3.1 Geometria do modelo de sapata corrida	20
Figura 3.2 Exemplo de malha gerada no programa Gmsh da sapata corrida	21
Figura 3.3 Geometria do modelo da sapata retangular	22
Figura 3.4 Exemplo de malha gerada no programa Gmsh da sapata retangular.....	23
Figura 3.5 Comparação entre as duas hipóteses da sapata corrida rígida com $L_{solo}=2m$	24
Figura 3.6 Assentamento em relação ao comprimento do solo da sapata corrida rígida	25
Figura 3.7 Comparações entre os Resultados de K_v da sapata corrida rígida.....	31
Figura 4.1 Referenciais de Mechpy e Gazetas (1980)	34
Figura 4.2 I vs b da sapata corrida rígida.....	38
Figura 4.3 Coeficiente z'_{eq} vs b da sapata corrida rígida	38
Figura 4.4 I vs b com $L/B=1$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$	39
Figura 4.5 I vs b com $L/B=2$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$	40
Figura 4.6 I vs b com $L/B=5$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$	40
Figura 4.7 I vs b com $L/B=10$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$	40
Figura 4.8 Coeficiente z'_{eq} vs b com $L/B=1$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$	41
Figura 4.9 Coeficiente z'_{eq} vs b com $L/B=2$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$	41
Figura 4.10 Coeficiente z'_{eq} vs b com $L/B=5$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$	42
Figura 4.11 Coeficiente z'_{eq} vs b com $L/B=10$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$	42
Figura 5.1 Comparação dos resultados do módulo de deformabilidade.....	45

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 Fator I_w da sapata corrida flexível no ponto A; (Milovic, 1992)	7
Tabela 2.2 Fator I_w da sapata corrida flexível no ponto C; (Milovic, 1992)	7
Tabela 2.3 Resultados do fator I_w com $\nu=0,3$ da sapata corrida flexível	8
Tabela 2.4 Fator I_w da sapata corrida rígida; (Milovic, 1992).....	8
Tabela 2.5 Resultados do fator I_w com $\nu=0,3$ da sapata corrida rígida.....	8
Tabela 2.6 Fator I_w da sapata retangular flexível no ponto 0; (Milovic, 1992)	11
Tabela 2.7 Fator I_w da sapata retangular flexível no ponto C; (Milovic, 1992).....	11
Tabela 2.8 Resultados do fator I_w com $\nu=0,3$ da sapata retangular flexível	14
Tabela 2.9 Fator I_w da sapata retangular rígida; (Milovic, 1992).....	14
Tabela 2.10 Módulo de deformabilidade; (Das, 2006)	15
Tabela 2.11 Coeficiente de Poisson; (Das, 2006)	15
Tabela 2.12 Resultados do fator I_w com $\nu=0,3$ da sapata retangular rígida	16
Tabela 2.13 Resultados de K_v em função de $B/2H$	18
Tabela 3.1 Características geométricas e mecânicas; sapata corrida.....	23
Tabela 3.2 Resultados de assentamento 1ª e 2ª hipótese da sapata corrida rígida com $L_{solo}=2m$	24
Tabela 3.3 Estudo do nº de elementos da sapata corrida rígida com $L_{solo}=2m$	25
Tabela 3.4 Influência do comprimento do solo da sapata corrida rígida	25
Tabela 3.5 Ajuste das divisões por baixo da sapata corrida rígida.....	26
Tabela 3.6 Geometria da sapata retangular	26
Tabela 3.7 Assentamento 1ª hipótese da sapata retangular rígida	27
Tabela 3.8 Assentamento 2ª e 3ª hipótese da sapata retangular rígida	27
Tabela 3.9 Validação para solo homogêneo com $\nu=0,3$ e $H/B=2$ da sapata corrida	28
Tabela 3.10 Validação para solo homogêneo da sapata retangular com $L/B=1$, $H/B=5$ e $\nu=0,3$	29
Tabela 3.11 Aproximação de fator I de sapatas rígidas com fator de flexibilidade I_F	30
Tabela 3.12 Parâmetros mecânicos do solo heterogêneo	31
Tabela 3.13 Valores de K_v com $b=1,5$	31
Tabela 4.1 Valores de b	33
Tabela 4.2 Pontos no referencial	34
Tabela 4.3 Valores do parâmetros z_0	35
Tabela 4.4 Valores do parâmetro E_0	35
Tabela 5.1 Valores de I e I_0	46
Tabela 5.2 Valores de z'_{eq}	46
Tabela 5.3 Valores de I	46
Tabela 5.4 Valores de z'_{eq}	47

Lista de Símbolos

Minúsculas

b: Coeficiente de heterogeneidade
d: Diâmetro da sapata
h: Espessura da sapata
 m' : Razão entre as dimensões horizontais de uma sapata retangular
 n' : Razão entre altura e a menor dimensão horizontal da sapata
n: expoente definidor do tipo de relação do módulo de deformabilidade na profundidade
q: Pressão aplicada na sapata
y: Profundidade
 y_{ref} : Altura do solo
z: Profundidade
 z_{eq} : Profundidade equivalente
 z'_{eq} : Coeficiente de profundidade equivalente

Maiúsculas

B: Menor dimensão horizontal da sapata
E: Módulo de deformabilidade
 E_0 : Módulo de deformabilidade de referência
 E_{inc} : Módulo de deformabilidade
 E_{ref} : Módulo de deformabilidade a superfície
 E_{sap} : Módulo de deformabilidade da sapata
 E_{solo} : Módulo de deformabilidade do solo
H: Altura do solo
Hsap: Espessura da sapata
I: Fator de influência de assentamento
 I_f : Fator de profundidade
 I_F : Fator de corretivo de flexibilidade
 I_w : Fator de influência de assentamento
K: Rigidez relativa

K_F : Fator de flexibilidade

K_V : Razão de carga e deslocamento

L: Maior dimensão horizontal da sapata

Lsolo: Dimensão horizontal do solo

LsoloB: Dimensão do solo na direção de B

LsoloL: Dimensão do solo na direção de L

Gregas

α : Constante de ponto de cálculo

δ : Assentamento pseudo-elástico

ν : Coeficiente de Poisson

ν_{sap} : Coeficiente de Poisson da sapata

ν_{solo} : Coeficiente de Poisson do solo

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação e Objetivos

Procurando o bem-estar do ser humano, a segurança é colocada em primeiro lugar. O desenvolvimento de novas ferramentas computacionais tem ajudado a melhorar os resultados de muitos estudos.

O cálculo do assentamento de uma fundação é de grande importância na Engenharia Civil, pois o assentamento provocado por cargas estáticas ou dinâmicas de estruturas introduz deformações na própria estrutura que em casos extremos podem levá-la à rotura.

O assentamento total de uma fundação resulta da soma entre o assentamento pseudo-elástico, assentamento de consolidação primária e assentamento de consolidação secundária. Através de ensaios In-Situ e laboratoriais e de correlações é possível obter as características de compressibilidade do solo necessárias para o cálculo de assentamento de consolidação primária e secundária. Já o assentamento pseudo-elástico de um solo pode ser calculado através de formulações baseadas na teoria da elasticidade, estas formulações são em função da dimensão da sapata, da carga aplicada, do módulo de deformabilidade, do coeficiente de Poisson e de um fator de influência que relaciona os diferentes parâmetros com o assentamento.

O cálculo de assentamentos pseudo-elástico em solo homogêneo (módulo de deformabilidade constante com a profundidade) provocados por sapatas rígidas e flexíveis de diferentes formas geométricas já foi estudado por vários pesquisadores. O assentamento da sapata rígida pode ser calculado através de uma aproximação a partir do cálculo de assentamento de uma sapata flexível. De acordo com Fox (1948) “o assentamento vertical de uma carga vertical de área rígida pode ser aproximada pelo assentamento vertical de uma carga uniforme em área flexível da mesma forma geométrica”.

Apesar de muitos estudos e formulações semelhantes baseadas na teoria da elasticidade, há poucos estudos no que considera o aumento da rigidez do solo em profundidade (solo não homogêneo).

O presente trabalho estuda o assentamento de fundações rígidas tridimensionais num solo heterogêneo (com rigidez variável em profundidade). Tem o objetivo de propor soluções do fator de influência de assentamento para este problema para diferentes geometrias e características de deformabilidade do meio terroso, também propor soluções de uma profundidade equivalente num solo heterogêneo para o qual o valor do módulo de deformabilidade corresponde ao mesmo assentamento de um cálculo feito com esse módulo de deformabilidade constante ao longo da profundidade.

A Figura 1.1 apresenta as condições geométricas e de carregamento do problema estudado. Trata-se do cálculo de assentamento motivado pela aplicação de uma força vertical sobre a sapata de área $B \times L$ num solo limitado por estrato rígido. Do lado esquerdo da figura está representado uma sapata sobre um solo homogêneo e do lado direito uma sapata sobre um solo heterogêneo.

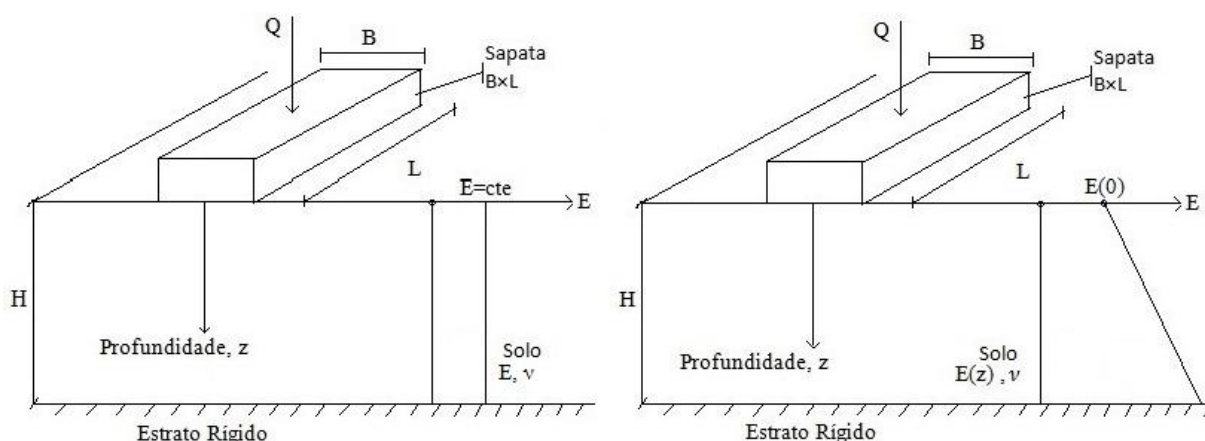


Figura 1.1 Assentamento pseudo-elástico de fundações rígidas

em que: B = menor dimensão horizontal da sapata
 L = maior dimensão horizontal da sapata
 Q = força aplicada no centro da sapata
 H = altura do solo
 E = módulo de deformabilidade
 ν = coeficiente de Poisson

1.2 Organização do Trabalho

O presente trabalho está dividido em 6 capítulos.

No capítulo 2 de apresentação do problema segue as hipóteses simplificadoras do problema e estado da arte.

No capítulo 3 da metodologia de resolução são apresentados os programas computacionais que foram usados na modelação tridimensional das fundações rígidas e no cálculo de assentamento. É apresentado o estudo da geometria dos modelos e dimensão dos elementos finitos da malha dos modelos usados neste estudo. Depois disso, foi feita uma validação de alguns resultados com valores de referência, para os casos de solo homogêneo e heterogêneo.

No capítulo 4 de resultados apresenta-se as condições gerais e definições de parâmetros usados no cálculo de assentamento pseudo-elástico de sapatas corridas e retangulares rígidas, variando suas características geométricas e mecânicas. É enunciada as expressões usadas no cálculo do fator de influência de assentamento e da profundidade equivalente. São apresentados alguns gráficos de resultados.

No capítulo 5 é feita uma análise e discussão dos resultados em geral e é resolvido um caso prático.

No capítulo 6, de conclusão apresentam-se as principais conclusões a que se chegou no presente trabalho e por fim sugere-se alguns temas para desenvolvimentos futuros.

É ainda acrescentado um capítulo de anexos, onde estão apresentadas as tabelas e gráficos de resultados dos cálculos de assentamento e das soluções propostas de fator de influência e profundidade equivalente.

Capítulo 2

Apresentação do Problema

2.1 Introdução

Neste capítulo são referidos as hipóteses simplificativas admitidas na resolução do problema de assentamento de sapatas rígidas e flexíveis. Também neste capítulo é enunciada a expressão geral dos assentamentos pseudo-elásticos e alguns fatores de influência dessa expressão definidos por estudiosos, dependentes das características da sapata. São também apresentadas duas formulações da expressão do módulo de deformabilidade para solos heterogêneos.

2.2 Considerações Gerais

No estudo do assentamento pseudo-elástico do solo provocado pela solicitação de uma sapata rígida foram consideradas algumas hipóteses simplificativas para o solo e sapata.

Para o solo tem-se:

- Solo com comportamento elastico linear;
- Solo heterogêneo, isotropico e a sua rigidez aumenta com a profundidade;
- Solo limitado horizontalmente em profundidade por estrato rígido;

Para a sapata tem-se:

- Sapata flexível ou rígida

2.3 Assentamento Pseudo-elástico

“Assentamento pseudo-elástico de sapatas ocorre imediatamente após a aplicação da carga, sem mudança do teor em água. A magnitude do assentamento de contato dependerá da flexibilidade da fundação e do tipo de material sobre o qual ela está em repouso. (...) No caso de areia com materiais finos, o módulo de deformabilidade aumenta com a profundidade” (Das, 2006).

O assentamento pseudo-elástico de fundações tem como expressão geral

$$\delta = \frac{qB}{E} \cdot (1 - \nu^2) \cdot I$$

Equação 2-1

em que: δ = assentamento pseudo-elástico vertical

q = pressão aplicada na fundação

B = largura ou diâmetro da fundação

I = fator de influência de assentamento

E = módulo de deformabilidade

ν = coeficiente de Poisson

Esta expressão geral serve para calcular o assentamento em qualquer ponto para todos os tipos e formas geométricas de fundações rasas ou superficiais, flexíveis ou rígidas. O que muda em cada situação é o fator ou conjunto de fatores I de influência ou de correção, que podem depender de características da fundação como geometria, profundidade, rugosidade, rigidez e localização dos pontos de cálculo de assentamento.

Ao longo dos anos vários pesquisadores determinaram fatores corretivos de assentamento como, nomeadamente, por Harr (1966), Milovic (1992), Das (2006) e Magalhães (2009).

Refira-se que alguns autores, como por exemplo Milovic (1992) considera um fator de influência definido por:

$$I_w = I \cdot (1 - \nu^2)$$

Equação 2-2

em que: I = fator de influência de assentamento

ν = coeficiente de Poisson

Faz-se de seguida um resumo dos resultados de diferentes autores para as geometrias e carregamentos referidos anteriormente.

2.3.1 Sapata Corrida Flexível

No estudo do problema do cálculo do assentamento de sapatas corridas (dimensão longitudinal infinita) flexíveis, Milovic (1992) considerou uma carga uniformemente distribuída (q), diretamente aplicada num solo elástico e isotrópico, limitado inferiormente por estrato rígido. A Figura 2.1 mostra a geometria a considerar no problema da sapata corrida.

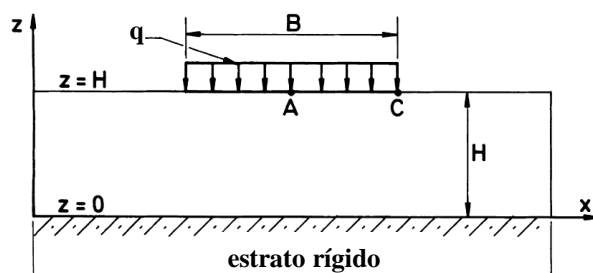


Figura 2.1 Geometria do problema da sapata corrida

Para o caso de contato perfeitamente rugoso entre o solo e a base rígida, são apresentados nas tabelas 2.1 e 2.2 os valores de I_w para diversas proporções de H/B e 3 valores de coeficiente de Poisson, nos pontos central e lateral, respetivamente A e C.

Tabela 2.1 Fator I_w da sapata corrida flexível no ponto A; (Milovic, 1992)

H/B	$\nu=0,15$	$\nu=0,3$	$\nu=0,45$
0,5	0,4739	0,3901	0,2253
1,0	0,8253	0,7079	0,4860
2,0	1,2350	1,0842	0,8082
3,0	1,4750	1,3120	1,0012
5,0	1,7890	1,5900	1,1881
10,0	2,2600	2,0362	1,6182

Tabela 2.2 Fator I_w da sapata corrida flexível no ponto C; (Milovic, 1992)

H/B	$\nu=0,15$	$\nu=0,3$	$\nu=0,45$
0,5	0,2402	0,1913	0,0863
1,0	0,4753	0,3914	0,2273
2,0	0,8292	0,7105	0,4832
3,0	1,0643	0,9253	0,6532
5,0	1,3652	1,1954	0,8421
10,0	1,7951	1,6043	1,2390

Milovic (1992) garante que estes resultados são praticamente iguais aos obtidos pelo método dos elementos finitos.

Magalhães (2009) apresenta também um fator corretivo I_w de assentamento de sapatas circulares, corridas e retangulares flexíveis e rígidas num solo homogêneo. O autor recorreu ao programa de elementos finitos Plaxis para o cálculo do assentamento pseudo-elástico de sapatas circulares e corridas.

Magalhães (2009) determina o fator corretivo I_w para diversas dimensões de sapatas, através da Equação 2-2 de Milovic (1992) usando o assentamento calculado no programa Plaxis. Os resultados de I_w tabelados em Milovic (1992) são tomados como referência para validação dos resultados de Magalhães (2009).

Na Tabela 2.3 são apresentados alguns valores de I_w determinados por Magalhães (2009) com coeficiente de Poisson $\nu=0,3$.

Tabela 2.3 Resultados do fator I_w com $\nu=0,3$ da sapata corrida flexível

H/B	I_w
1	0,799
2	1,100
3	1,300
5	1,600
10	2,000
∞	3,300

Na validação feita por Magalhães (2009) os resultados do fator I_w para sapata corrida flexível eram próximos dos resultados tabelados de Milovic (1992), logo aceitáveis.

2.3.2 Sapata Corrida Rígida

Milovic (1992) diz que o problema da determinação do assentamento produzido por uma fundação de rigidez qualquer pode ser estudado pelo método dos elementos finitos. Alguns valores do fator de influência I_w para cálculo de assentamento pseudo-elástico são apresentados na Tabela 2.4 para dois valores da proporção H/B e para 4 valores de coeficiente de Poisson.

Tabela 2.4 Fator I_w da sapata corrida rígida; (Milovic, 1992)

H/B	$\nu=0,20$	$\nu=0,30$	$\nu=0,40$	$\nu=0,48$
2	0,971	0,890	0,745	0,575
5	1,491	1,388	1,206	0,996

Na Tabela 2.5 são apresentados alguns valores de I_w determinados por Magalhães (2009) com coeficiente de Poisson $\nu=0,3$.

Tabela 2.5 Resultados do fator I_w com $\nu=0,3$ da sapata corrida rígida

H/B	I_w
1	0,574
2	0,902
3	1,118
5	1,400
10	1,789
∞	3,092

Na validação feita por Magalhães (2009) os resultados do fator I_w para sapata corrida rígida eram próximos dos resultados tabelados de Milovic (1992), logo aceitáveis.

2.3.3 Comparação entre Sapata Flexível e Rígida

A rigidez relativa K entre a sapata e o solo é dada pela Equação 2-3.

$$K = \frac{4 \cdot (1 - \nu_{solo}^2) \cdot E_{sap}}{3 \cdot (1 - \nu_{sap}^2) \cdot E_{solo}} \cdot h^3$$

Equação 2-3

em que: ν_{solo} = coeficiente de Poisson do solo

ν_{sap} = coeficiente de Poisson da sapata

E_{sap} = módulo de deformabilidade da sapata

E_{solo} = módulo de deformabilidade do solo

h = espessura da sapata

Uma rigidez relativa $K=20$ pode considerar a sapata como sendo rígida, como mostram as figuras 2.2 e 2.3. A Figura 2.2 apresenta a distribuição do fator I_w em função da localização dos pontos, sejam eles dentro ou fora da sapata, para o caso $H/B=5$, $\nu=0,3$ e $K=0,001$; 1,0 e 20. A Figura 2.3 mostra o fator I_w de uma sapata flexível a rígida nos pontos central e de canto respectivamente O e C, para uma sapata corrida de largura B e 4 valores do coeficiente de Poisson do solo.

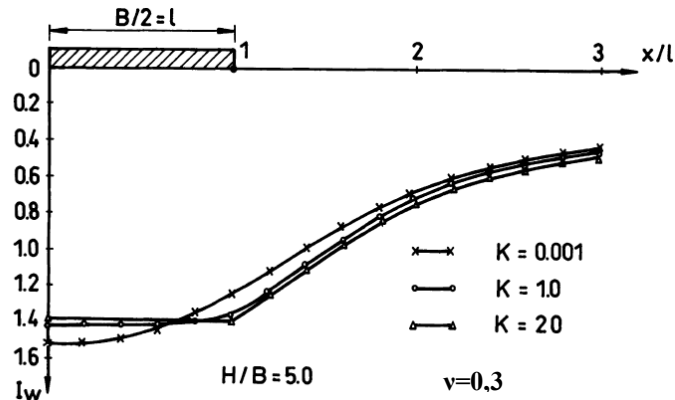


Figura 2.2 Distribuição do fator I_w dentro e fora da sapata com $H/B=5$; (Milovic, 1992)

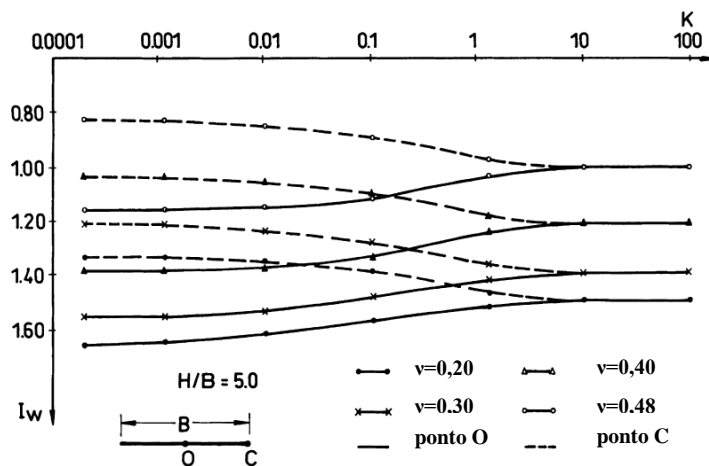


Figura 2.3 Gráfico do fator I_w em função da rigidez relativa com $H/B=5$; (Milovic, 1992)

2.3.4 Sapata Retangular Flexível

Poulos e Davis (1974) citam a expressão do assentamento pseudo-elástico vertical para uma sapata retangular flexível num solo homogêneo, formulado por Harr (1966) para um ponto debaixo do canto do retângulo como mostra a Figura 2.4. Para outros pontos o princípio da sobreposição pode ser utilizado.

$$\delta = \frac{q \cdot B}{E} (1 - \nu^2) \cdot \left(A_1 - \frac{1 - 2\nu}{1 - \nu} A_2 \right)$$

Equação 2-4

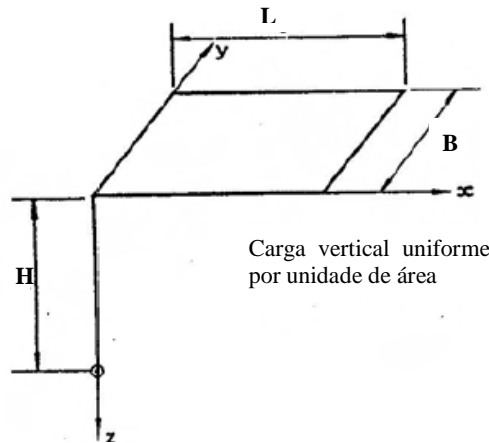


Figura 2.4 Sapata flexível retangular

em que: δ = assentamento elástico vertical

q = pressão aplicada na sapata

B = menor dimensão horizontal da sapata

ν = coeficiente de Poisson

E = módulo de deformabilidade

L = maior dimensão horizontal da sapata

z = profundidade

$$A_1 = \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\ln \cdot \frac{\sqrt{1 + m_1^2 + n_1^2} + m_1}{\sqrt{1 + m_1^2 + n_1^2} - m_1} + m_1 \cdot \ln \left(\frac{\sqrt{1 + m_1^2 + n_1^2} + 1}{\sqrt{1 + m_1^2 + n_1^2} - 1} \right) \right)$$

$$A_2 = \frac{n_1}{2\pi} \cdot \tan^{-1} \frac{m_1}{n_1 \cdot \sqrt{1 + m_1^2 + n_1^2}}$$

$$m_1 = \frac{L}{B}$$

$$n_1 = \frac{H}{B}$$

Para o caso de sapata retangular sobre um solo isotrópico de espessura finita Milovic (1992) também determina valores de I_w . A Figura 2.5 apresenta a geometria do problema fazendo nomeadamente a definição dos parâmetros geométricos intervenientes. O fator de influência I_w do cálculo de assentamento é dado nas tabelas 2.6 e 2.7 para os pontos O e C respetivamente, em função das proporções H/B e L/B sendo L a maior dimensão da sapata e para 3 valores do coeficiente de Poisson do solo.

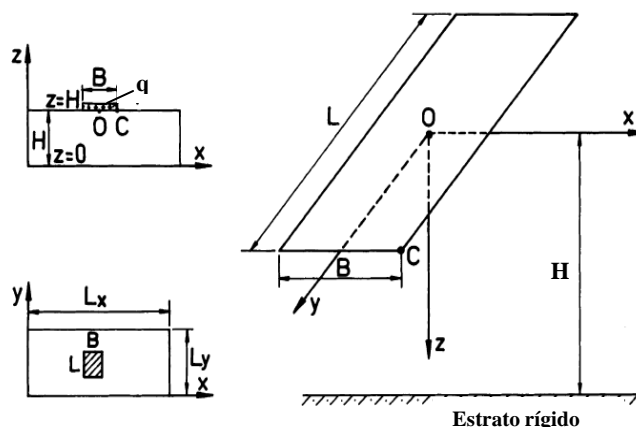


Figura 2.5 Geometria do problema de sapata retangular

Tabela 2.6 Fator I_w da sapata retangular flexível no ponto O; (Milovic, 1992)

H/B	v=0,15			v=0,30			v=0,45			
	L/B	1,0	2,0	5,0	1,0	2,0	5,0	1,0	2,0	5,0
0,5		0,453	0,463	0,473	0,381	0,380	0,383	0,252	0,232	0,222
1,0		0,712	0,812	0,821	0,632	0,712	0,704	0,502	0,532	0,493
2,0		0,881	1,112	1,232	0,812	1,004	1,093	0,683	0,823	0,842
3,0		0,954	1,234	1,452	0,874	1,125	1,315	0,744	0,945	1,062
5,0		1,006	1,335	1,673	0,925	1,234	1,526	0,805	1,056	1,274

Tabela 2.7 Fator I_w da sapata retangular flexível no ponto C; (Milovic, 1992)

H/B	v=0,15		v=0,30		v=0,45		
	L/B	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0
0,5		0,121	0,121	0,101	0,101	0,051	0,041
1,0		0,231	0,241	0,202	0,202	0,131	0,124
2,0		0,362	0,412	0,322	0,361	0,260	0,272
3,0		0,422	0,512	0,383	0,453	0,312	0,363
5,0		0,474	0,604	0,433	0,544	0,362	0,454

A Figura 2.6 apresenta a evolução de I_w quanto à proporção H/B para diferentes coeficientes de Poisson, no ponto de cálculo O.

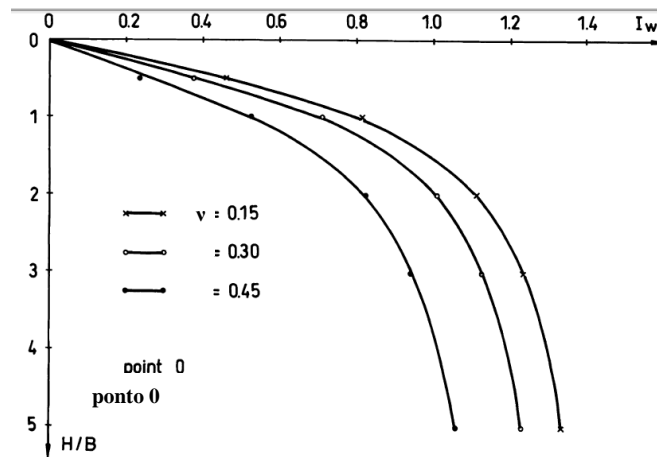


Figura 2.6 Evolução do fator I_w ; sapata retangular flexível, $L/B=2$

Das (2006) define a expressão de assentamento pseudo-elástico para sapatas retangulares num estrato de solo limitado por estrato rígido. Ele usa fatores corretivos de forma propostos por Steinbrenner (1934) e de profundidade propostos por Fox (1948). O autor segue as seguintes suposições:

- A carga é aplicada na superfície da sapata.
- A fundação é flexível.
- O meio do solo é homogêneo, isotrópico e estende para grande profundidade.

A Figura 2.7 representa o problema apresentado por Das (2006). Mostra uma fundação rasa retangular de área $B \times L$ submetida a uma força por unidade de área igual a q . O coeficiente de Poisson ν e o módulo de deformabilidade E do solo que o suporta. Teoricamente, se a fundação é perfeitamente flexível, o assentamento pode ser expresso como

$$\delta = q \cdot (\alpha B') \cdot \frac{1 - \nu^2}{E} \cdot I \cdot I_f$$

Equação 2-5

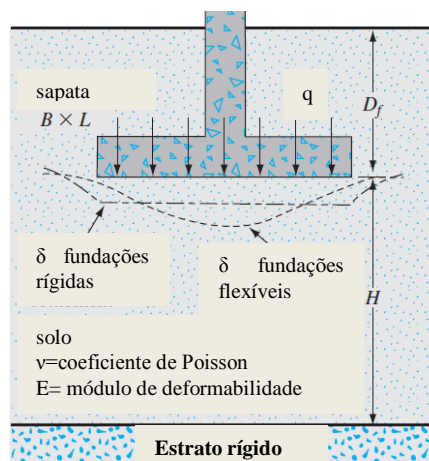


Figura 2.7 Assentamento pseudo-elástico de fundações rígidas e flexíveis

em que: q = pressão aplicada na sapata

v = Coeficiente de Poisson do solo

E = média do módulo de elasticidade do solo da sapata

B' = B/2 para o centro da sapata

= B para o canto da sapata

I = fator de forma (Steinbrenner, 1934)

$$I = F_1 + \frac{1 - 2\mu_s}{1 - \mu_s} \cdot F_2$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} \cdot (A_0 + A_1)$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} \cdot \tan^{-1} A_2$$

$$A_0 = m' \cdot \ln \frac{(1 + \sqrt{m'^2 + 1}) \cdot \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m' \cdot (1 + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1})}$$

$$A_1 = \ln \frac{(m' + \sqrt{m'^2 + 1}) \cdot \sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$A_2 = \frac{m'}{n' \cdot \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$I_f = \text{fator de profundidade (Fox, 1948)} = f\left(\frac{D_f}{B}, \mu_s, e \frac{L}{B}\right)$$

Quando $D_f = 0$, o valor de $I_f = 1$ em todos os casos.

α = fator que depende da localização da fundação onde o assentamento é calculado.

➤ Para o cálculo do assentamento no centro da fundação:

$$\alpha = 4$$

$$m' = \frac{L}{B}$$

$$n' = \frac{H}{\left(\frac{B}{2}\right)}$$

➤ Para o cálculo do assentamento no canto da fundação:

$$\alpha = 1$$

$$m' = \frac{L}{B}$$

$$n' = \frac{H}{B}$$

Magalhães (2009) usou o programa Plaxis 3D no cálculo de assentamento pseudo-elástico de sapatas retangulares. O programa Plaxis dispõe aos utilizadores de versões com capacidades de cálculo em deformação plana ou em condições tridimensionais.

Na Tabela 2.8 são apresentados alguns valores de I_w determinados por Magalhães (2009) com coeficiente de Poisson $\nu=0,3$.

Tabela 2.8 Resultados do fator I_w com $\nu=0,3$ da sapata retangular flexível

H/B	I_w
1	0,663
2	0,824
3	0,901
5	0,953
10	0,989
∞	1,044

Os resultados do fator I_w da sapata retangular flexível foram próximos aos resultados tabelados por Milovic (1992).

2.3.5 Sapata Retangular Rígida

Tensões e deslocamentos produzidos por uma fundação retangular flexível foram estudados por Milovic e Tornier (1971). Depois os mesmos autores (1973) consideraram uma fundação rígida retangular com as seguintes suposições:

- A fundação é perfeitamente rígida e tem base perfeitamente rugosa
- O comportamento do solo é isotrópico, homogêneo contínuo e obedece à Lei de Hooke. As propriedades elásticas do solo são definidas por 2 constantes elásticas E e ν , respetivamente módulo de Young e coeficiente de Poisson.
- O solo é limitado por uma base rígida inferiormente, situada a uma profundidade finita
- O contato entre o solo e a estrato rígido é perfeitamente rugoso.
- Não existem forças no solo para além da pressão sobre a sapata.

Valores do fator de influência I_w são dados na Tabela 2.9 consoante as proporções H/B , L/B e para 3 valores de coeficiente de Poisson.

Tabela 2.9 Fator I_w da sapata retangular rígida; (Milovic, 1992)

H/B	L/B=1,0			L/B=2,0			L/B=5,0		
	$\nu=0,15$	$\nu=0,30$	$\nu=0,45$	$\nu=0,15$	$\nu=0,30$	$\nu=0,45$	$\nu=0,15$	$\nu=0,30$	$\nu=0,45$
1,0	0,662	0,499	0,378	0,719	0,563	0,365	0,741	0,607	0,349
2,0	0,845	0,781	0,630	0,018	0,922	0,690	1,097	0,980	0,687
3,0	0,857	0,725	0,705	0,095	0,920	0,844	1,219	1,102	0,879
5,0	0,910	0,874	0,789	1,203	1,143	1,006	1,376	1,297	1,104

A Figura 2.8 mostra a evolução do fator I_w de acordo com as proporções de profundidade e largura.

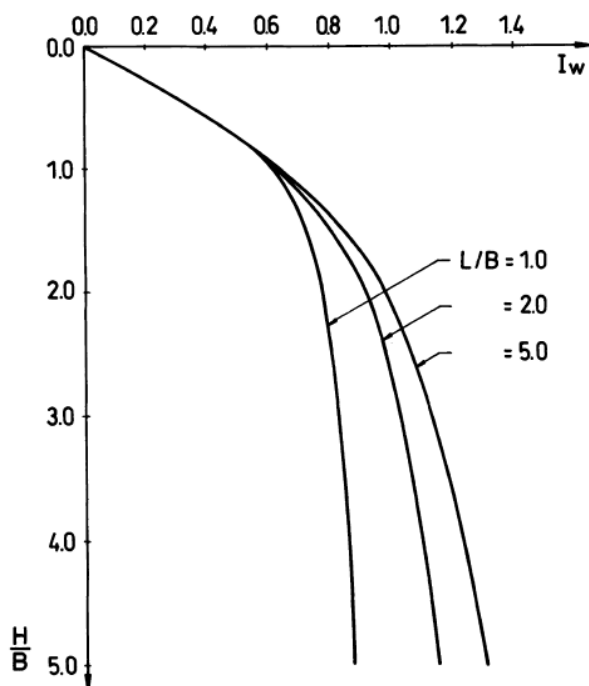


Figura 2.8 Evolução do fator I_w da sapata retangular rígida com $\nu=0,3$; (Milovic, 1992)

Das (2006) estima o assentamento de uma sapata rígida pelo assentamento de uma sapata flexível da mesma geometria no ponto central de cálculo, como mostra a Equação 2-6.

$$\delta_{(rígida)} \approx 0.93 \cdot \delta_{(flexível, centro)}$$

Equação 2-6

Das (2006) dá também valores representativos do módulo de deformabilidade e coeficiente de Poisson de diferentes tipos de solo, apresentados nas tabelas 2.10 e 2.11, respectivamente.

Tabela 2.10 Módulo de deformabilidade; (Das, 2006)

Tipo de Solo	E [kN/m ²]
Argila mole	1800 - 3500
Argila dura	6000 - 14000
Areia Solta	10000 - 28000
Areia densa	35000 - 70000

Tabela 2.11 Coeficiente de Poisson; (Das, 2006)

Tipo de solo	ν
Areia Solta	0.2 - 0.4
Areia média	0.25 - 0.4
Areia densa	0.3 - 0.45
Areia siltosa	0.2 - 0.4
Argila mole	0.15 - 0.25
Argila média	0.2 - 0.5

Na Tabela 2.12 são apresentados alguns valores de I_w determinados por Magalhães (2009) com coeficiente de Poisson $\nu=0,3$.

Tabela 2.12 Resultados do fator I_w com $\nu=0,3$ da sapata retangular rígida

H/B	I_w
1	0,434
2	0,571
3	0,632
5	0,673
10	0,701
∞	0,739

Os resultados do fator I_w da sapata retangular rígida foram razoavelmente diferentes.

Com essa diferença entre os resultados do programa Plaxis e de Milovic (1992), levanta-se uma questão sobre os resultados do fator I_w de Milovic (1992) determinado para sapatas retangulares rígidas.

Brown (1969,a) propôs um coeficiente de flexibilidade de fundação K_F , para uma sapata circular. Brown (1969,b) define um fator de correção de flexibilidade I_F calculado usando o método dos elementos finitos, dependente de K_F . Ele diz que para uma sapata circular perfeitamente flexível, o fator de flexibilidade I_F é igual a 1 e para uma sapata circular perfeitamente rígida o fator de flexibilidade I_F toma o valor de $\pi/4$. O autor define uma expressão de aproximação dos resultados do fator I_F obtidos pelo método dos elementos finitos, como mostra a seguinte equação.

$$I_F = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4,6 + 10 \cdot K_F}$$

Equação 2-7

com

$$K_F = \left(\frac{E_{sap}}{E_{solo}} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot h}{d} \right)^3$$

Equação 2-8

em que: h = espessura da sapata

d = diâmetro da sapata

E_{sap} = módulo de deformabilidade da sapata

E_{solo} = módulo de deformabilidade do solo

É de notar nas equações 2-7 e 2-8 que se a sapata for suficientemente mais rígida que o solo, I_F tenderá para $\pi/4$ independentemente da razão entre a espessura e dimensão da sapata. Esta expressão de K_F é para o caso de sapatas circulares. Para calcular o coeficiente K_F no caso de sapata quadrada rígida, é só fazer a conversão pela Equação 2-9, em que B e L são as dimensões da sapata.

$$d = \left(\frac{4 \cdot B \cdot L}{\pi} \right)^{0,5}$$

Equação 2-9

Aproximando o fator corretivo da sapata quadrada perfeitamente rígida pelo fator corretivo da sapata circular perfeitamente rígida, $I_F = \pi/4$, tem-se então a expressão geral de assentamento pseudo-elástico para sapata retangular a Equação 2-10.

$$\delta = \frac{q \cdot B}{E} \cdot (1 - \nu^2) \cdot I \cdot \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{4,6 + 10 \left(\frac{E_{sap}}{E_{solo}} \right) \cdot \left(\frac{2h}{\sqrt{\frac{4BL}{H}}} \right)^3} \right)$$

Equação 2-10

2.4 Formulações com Módulo de Deformabilidade Variável

Para o caso bidimensional o programa Plaxis resolve a matriz de rigidez elástica bidimensional e dá o valor do assentamento elástico sofrido no solo, fazendo uma análise bidimensional de deformação e estabilidade através de elementos finitos. A sua utilização requer normalmente um faseamento construtivo.

No programa Plaxis é possível caracterizar o comportamento do material como elástico segundo a Lei de Hooke elástica e variar sua rigidez em profundidade, como mostra a Equação 2-11.

$$E = E_{ref} + (y_{ref} - y) \cdot E_{inc}$$

Equação 2-11

em que: E = Módulo de deformabilidade em função da profundidade y

E_{ref} = Módulo de deformabilidade à superfície

y_{ref} = altura do solo

E_{inc} = Módulo de deformabilidade

y = profundidade

Esta equação define um aumento linear da elasticidade do solo com a profundidade. Dependendo da versão este programa só faz análise bidimensional e por isso é possível recorrer a ele para a análise do assentamento elástico de sapatas corridas.

Gazetas (1980) estuda o comportamento elástico do solo em profundidade, dado ao carregamento vertical distribuído de uma sapata corrida rígida. Considerando um solo isotrópico, heterogêneo com coeficiente de Poisson $\nu=0.25$, limitado inferiormente por estrato rígido.

O autor Gazetas define uma equação de deformabilidade considerando que o módulo de deformabilidade aumenta com a profundidade, da forma expressa pela Equação 2-12.

$$E = E_0(1 + bz)$$

Equação 2-12

em que: E = módulo de deformabilidade

E_0 = módulo de deformabilidade referência

b = coeficiente de heterogeneidade

z = profundidade

Gazetas (1980) define um parâmetro \tilde{b} que relaciona o coeficiente de heterogeneidade (b) com a metade da largura da sapata (B), como na Equação 2-13.

$$\tilde{b} = b \cdot B/2$$

Equação 2-13

No estudo do solo heterogêneo, Gazetas (1980) determina a razão da carga com o assentamento vertical (K_v), para uma sapata corrida rígida em função da razão $B/(2H)$, sendo B a menor dimensão horizontal da sapata e H a altura do solo limitado por estrato rígido. Gazetas (1980) apresenta os resultados de K_v num gráfico. Estes valores de K_v foram transportados para uma tabela através do programa Plot Digitizer. A Tabela 2.13 apresenta estes valores de K_v transportados do gráfico de Gazetas (1980) e convertidos a unidades $[kN/m^2]$.

Tabela 2.13 Resultados de K_v em função de $B/2H$

B/(2H)	K_v [kN/m²]	B/(2H)	K_v [kN/m²]	B/(2H)	K_v [kN/m²]	B/(2H)	K_v [kN/m²]
0,010	99477,4	0,068	107510,8	0,194	126371,1	0,507	157875,8
0,012	97749,7	0,074	109264,3	0,211	128997,2	0,534	160498,5
0,015	97770,4	0,081	110145,2	0,229	130749,8	0,603	165745,7
0,017	98654,6	0,095	112342,4	0,254	134250,2	0,653	169679,83
0,021	98673,7	0,103	113658,8	0,277	136003,7	0,712	172305,9
0,024	99994,2	0,114	114976,8	0,292	138190,1	0,751	175801,3
0,034	101773,4	0,126	117168,2	0,339	143439,8	0,791	177987,7
0,038	103530,2	0,136	118920,9	0,363	145191,6	0,834	181483,1
0,047	103984,7	0,148	120673,5	0,390	147816,0	0,886	184543,0
0,052	105304,4	0,163	122427,8	0,418	150004,2	0,967	188914,2
0,063	106630,7	0,179	124618,4	0,476	156124,8	1,028	191974,1

Capítulo 3

Metodologia de Resolução

3.1 Introdução

O presente trabalho tem, por objetivo como foi visto anteriormente, a determinação de fatores de influência de assentamento e da profundidade equivalente para sapatas tridimensionais apoiadas em meio com rigidez variável em profundidade. Lembra-se que profundidade equivalente é a profundidade num solo heterogêneo para o qual o módulo de deformabilidade corresponde ao mesmo assentamento de um cálculo feito num solo homogêneo.

Para tal efetuaram-se cálculos recorrendo ao método dos elementos finitos, em que a matriz de rigidez usual foi substituída por uma em que o módulo de deformabilidade é variável com a profundidade. O método dos elementos finitos foi programado no código Mechpy, programa de elementos desenvolvido no seio do DEC (departamento de engenharia civil), para as duas variantes, mas não foi conduzida anteriormente uma validação do mesmo, para além dos casos muito básicos.

A expressão utilizada no programa Mechpy para o módulo de deformabilidade é dada por:

$$E = E_0 \cdot (z_0 - z)^n$$

Equação 3-1

em que: E = módulo de elasticidade em função da profundidade

E_0 = módulo de elasticidade de referência

z_0 = cota de referência

z = altura do solo

n = expoente definidor do tipo relação de E na profundidade, sendo no presente trabalho igual a zero ou a um.

O expoente n é nulo na variante de cálculo de assentamento considerando solo homogêneo ($E=E_0$), e n tem valor unitário no caso da variante de cálculo de assentamento considerando um solo heterogêneo.

O referencial xyz do programa Mechpy tem origem na base inferior do solo.

A utilização do Mechpy é combinada com a utilização de dois outros programas. O primeiro deles é o Gmsh. O programa Gmsh é um gerador de malhas de elementos finitos. No programa Gmsh

é possível através de um ficheiro de texto definir as características geométricas do modelo, dimensão dos elementos da malha, enumerar as superfícies que serão restringidas em deslocamento ou solicitadas com carregamento, caracterizar volumes quanto ao comportamento. O programa Mechpy além de converter as malhas resultantes da aplicação do Gmsh, efetua os cálculos. Os resultados gráficos são explorados recorrendo ao programa Paraview. O programa Paraview permite retirar o valor do assentamento elástico em qualquer ponto.

O computador utilizado na resolução dos cálculos foi um processador Intel com capacidade de 32 GB de memória viva.

Nas secções seguintes faz-se a descrição dos cálculos de validação efetuados assim como a comparação dos resultados obtidos com os resultados existentes em literatura.

3.2 Definição dos modelos

Neste presente trabalho, para o estudo do assentamento pseudo-elástico foram consideradas 2 formas de sapatas, sendo elas a sapata corrida rígida e a sapata retangular rígida. Nos tópicos seguintes serão explicadas a geometria e malhas dos modelos.

3.2.1 Sapata Corrida

Geometria

Na Figura 3.1 é representado a geometria tipo e condições limites para metade da sapata corrida devido a condições de simetria. A sua dimensão longitudinal é considerada infinita.

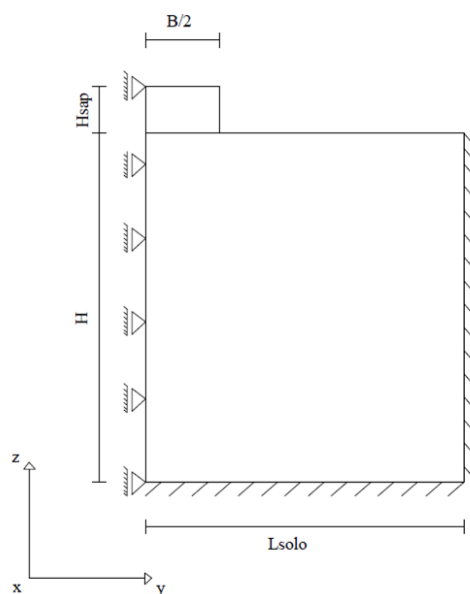


Figura 3.1 Geometria do modelo de sapata corrida

em que: B = largura da sapata

H_{sap} = espessura da sapata

H = altura do solo

L_{solo} = largura do solo

Malha

No mesmo trabalho foi feito um estudo da dimensão dos elementos da malha, foi comparado malhas com elementos constantes e variável. Chegou-se a conclusão que malhas com elementos variáveis eram igualmente bons aos constantes e muito mais leve de calcular no programa Mechpy. Com isso adotaram-se malhas elementos finitos com dimensão variável.

Os elementos finitos destas malhas têm dimensão mais pequena nas proximidades da fundação, dimensão essa que vai aumentando para elementos mais afastados da sapata.

Como é sabido os resultados deste tipo de análises depende das dimensões dos elementos da malha. No subcapítulo 3.3 é apresentado um estudo da influência da dimensão dos elementos da malha nos resultados.

A Figura 3.2 apresenta um exemplo da progressão da malha começando por 2 divisões debaixo da sapata, a seguir o primeiro elemento tem a mesma dimensão que os elementos debaixo da sapata e aumentam progressivamente em 10 elementos até o comprimento final. O comprimento do solo e sapata no modelo de sapata corrida, como é considerado infinito, foi colocado no programa o valor unitário.

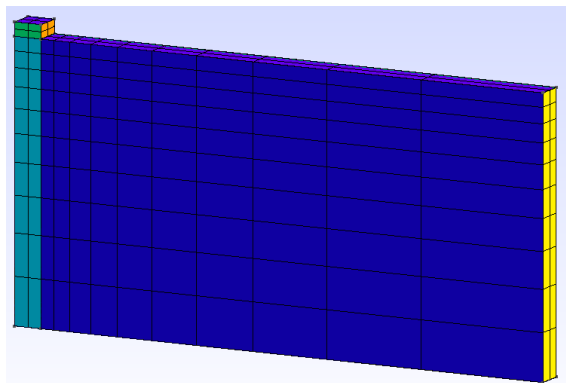


Figura 3.2 Exemplo de malha gerada no prgrama Gmsh da sapata corrida

3.2.2 Sapata Retangular

Geometria

No presente trabalho, a sapata finita é aquela que incorpora a essência desse trabalho. A Figura 3.3 apresenta as condições de geometria e condições limites, para um quarto deste modelo devido a condições de simetria.

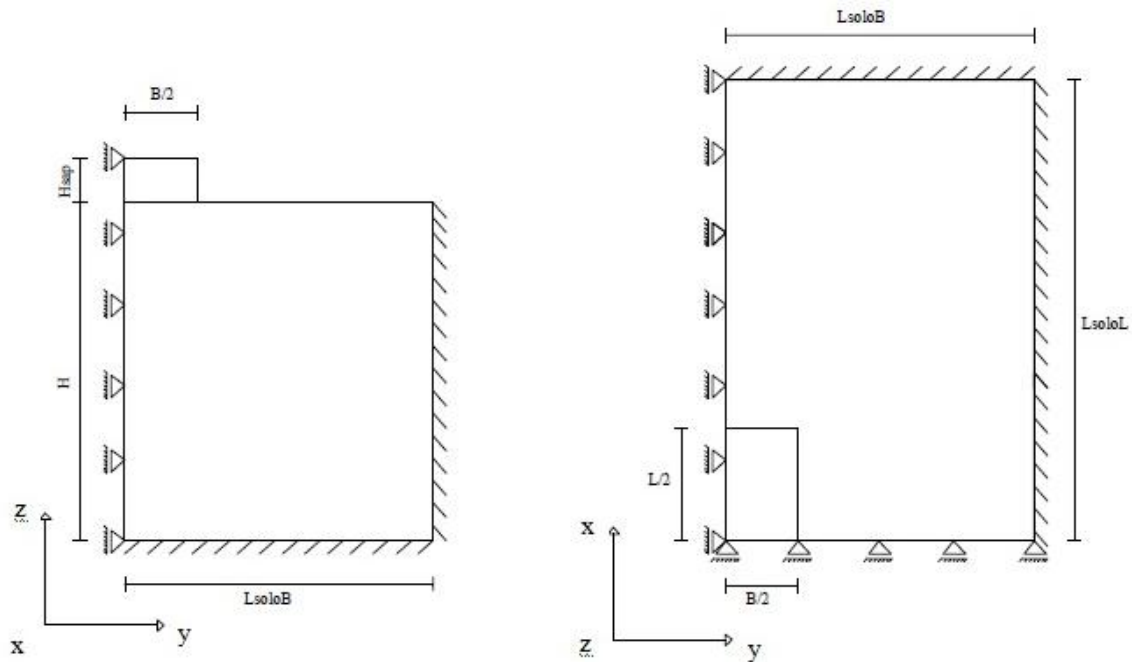


Figura 3.3 Geometria do modelo da sapata retangular

em que B = a menor dimensão horizontal da sapata

L = a maior dimensão horizontal da sapata

H_{sap} = espessura da sapata

H = altura do solo

L_{soloB} = dimensão do solo na direção de B

L_{soloL} = dimensão do solo na direção de L

Malha

No modelo da sapata retangular, como no da sapata corrida, a malha é definida aumentando progressivamente o comprimento de cada elemento. Essa simplificação reduz, em relação a uma malha com elementos de tamanho constante igual ao dos elementos da malha escolhida por baixo da sapata, muito o número de elementos. Isso permite que as capacidades dos componentes utilizados não sejam ultrapassadas e reduz o tempo de cálculo, mantendo as condições limites do solo afastadas da sapata. Como interessa saber o deslocamento nos pontos imediatamente abaixo da sapata na sua extremidade, debaixo da sapata foi feita uma malha mais fina com comprimento de elemento constante na direção x e y . O primeiro elemento a seguir à malha debaixo da sapata é definido como tendo o mesmo comprimento dos elementos da malha anterior. Daí vai aumentando progressivamente nas direções horizontal e vertical. O valor da progressão é calculado usando a função Goal Seek no programa de cálculo Excel^R, de forma que se respeite as condições geométricas e o número de elementos.

No exemplo da figura seguinte a metade da largura da sapata foi dividida em 2 elementos. O comprimento e largura do solo $(L_{soloB} - B/2)$ e $(L_{soloL} - L/2)$ foram divididos em 10 elementos,

sendo que estes aumentaram progressivamente a partir do valor do comprimento dos elementos da sapata. A Figura 3.4 mostra o modelo tridimensional de uma sapata retangular.

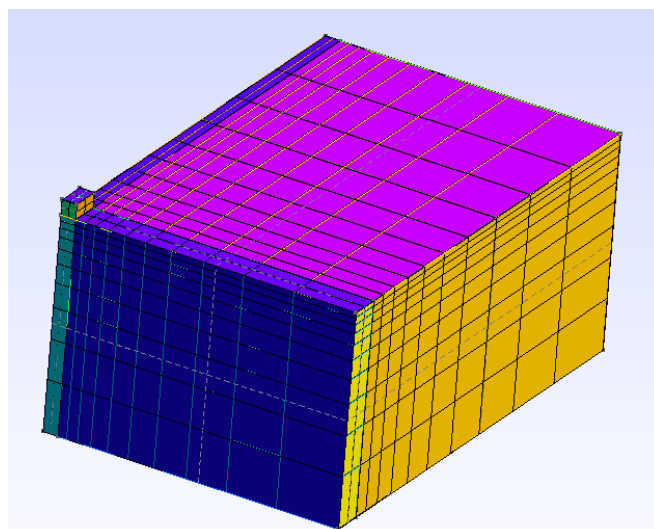


Figura 3.4 Exemplo de malha gerada no programa Gmsh da sapata retangular

3.3 Estudo da Dimensão da Malha e Comprimento do Solo

Com o intuito de obter resultados satisfatórios, foi feito inicialmente um estudo para a malha e dimensão geométrica que aproveite o melhor possível as capacidades do computador utilizado.

Como sabido uma malha mais refinada permite obter um melhor resultado o que no presente caso corresponde a um maior assentamento. As dimensões entre a sapata e as fronteiras do maciço deverão garantir que estas não têm influência no resultado.

Sapata Corrida

Dada a pequena dimensão numa das direções da sapata corrida, que tem valor unitário como foi referido na secção 3.2.1, foi possível fazer malhas bastante refinadas na zona da sapata para este modelo.

Inicialmente foi considerado um modelo para a sapata rígida corrida com as características apresentadas na Tabela 3.1. O coeficiente de Poisson foi tomado como sendo $\nu=0,3$ para o solo e sapata.

Tabela 3.1 Características geométricas e mecânicas; sapata corrida

H [m]	Lsolo [m]	B [m]	$E_{0,\text{solo}}$ [kN/m ²]	E_{sapata} [kN/m ²]	q [kN/m ²]	hsap [m]
2	2	1	5×10^4	5×10^{10}	10	0,5

Numa primeira hipótese foram considerados elementos finitos da malha constantes em todo o modelo. Numa segunda hipótese consideraram-se elementos constantes somente debaixo da sapata e a partir daí um aumento progressivo do tamanho dos elementos que totalizava o número de 10 nas direções vertical e horizontal. A Tabela 3.2 mostra os resultados de assentamento da primeira hipótese

com 2 até 20 divisões na metade da largura da sapata ($B/2$), e da segunda hipótese com 8, 12, 15 e 20 divisões na metade da largura da sapata, sendo estes últimos números de divisões mais importantes dado a análise da primeira hipótese.

Tabela 3.2 Resultados de assentamento 1ª e 2ª hipótese da sapata corrida rígida com $L_{solo}=2m$

Nº de divisões em $B/2$	1ª Hipótese	2ª Hipótese
2	1,74393E-04	
4	1,75574E-04	
6	1,75961E-04	
8	1,76156E-04	1,76151E-04
10	1,76273E-04	
12	1,76352E-04	1,76345E-04
15	1,76431E-04	1,76423E-04
20	1,76511E-04	1,76501E-04

A Figura 3.5 mostra o gráfico de comparação entre os resultados da malha de elementos e tamanho constante e tamanho variável.

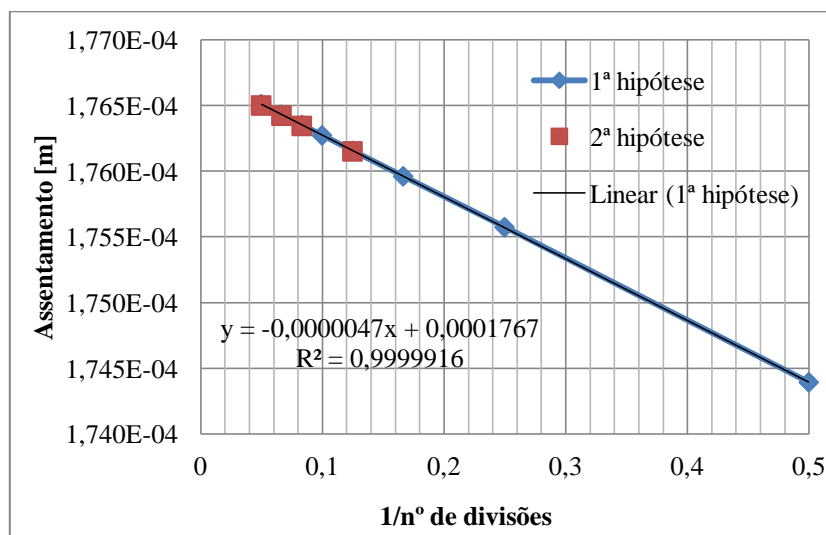


Figura 3.5 Comparação entre as duas hipóteses da sapata corrida rígida com $L_{solo}=2m$

Como era previsto, quanto mais refinada a malha, maiores são os assentamentos. Os resultados foram aproximados a uma reta a qual ajusta-se muito bem aos resultados. É de notar que os resultados da 2ª hipótese são quase idênticos aos da 1ª. Sendo assim o estudo seguiu na direção da 2ª hipótese, com malha progressiva com 20 divisões na dimensão $B/2$.

Procurando melhores resultados foi aumentado o número de elementos no comprimento $L_{solo}-B/2$ (direção horizontal) e em H (direção vertical). Sendo os resultados apresentados na Tabela 3.3. Conclui-se que não há grande diferença entre os diversos valores com o aumento do número de elementos optando-se assim por continuar os cálculos com 15 elementos no comprimento $L_{solo}-B/2$ e 20 elementos na altura H .

Tabela 3.3 Estudo do nº de elementos da sapata corrida rígida com $L_{\text{solo}}=2\text{m}$

Nº de elementos em $L_{\text{solo}}-B/2$	Nº de elementos em H	Assentamento [m]
15	10	1,76503E-04
20	10	1,76503E-04
30	10	1,76503E-04
15	15	1,76508E-04
15	20	1,76509E-04
15	30	1,76510E-04
15	40	1,76510E-04

Depois de definida a divisão da metade da sapata em 20 elementos, o número de elementos em $L_{\text{solo}}-B/2$ em 15 e com 20 elementos em H, foi feita a variação do comprimento do solo, aumentando até onde os assentamentos começassem a tender para um valor, como mostra na Tabela 3.4 e Figura 3.6. Partindo de $L_{\text{solo}}=2\text{m}$, é possível verificar que a partir de $L_{\text{solo}}=8\text{m}$ o assentamento tende para o valor de $1,8141 \times 10^{-4}$. Sendo $L_{\text{solo}}=10\text{m}$ um valor aceitável, aceita-se uma proporção de 10 entre L_{solo} e B ($L_{\text{solo}}/B=10$). Também nesta tabela são mostrados os resultados de assentamentos para o mesmo caso, mas com a proporção de elementos em $L_{\text{solo}}-B/2$ de $10 \times (L_{\text{solo}}-B/2)$. Verifica-se que, apesar de resultados ligeiramente mais altos, o número de elementos em $L_{\text{solo}}-B/2$ não segue a proporção $10 \times (L_{\text{solo}}-B/2)$. Conclui-se que mesmo que aumente o valor de L_{solo} , não é necessário aumentar o número de elementos, pois não influencia no resultado de assentamento.

Tabela 3.4 Influência do comprimento do solo da sapata corrida rígida

L_{solo} [m]	Assentamento [m]	Nº elementos $L_{\text{solo}}-B/2$	Assentamento [m]
2	1,76509E-04	15	1,76509E-04
4	1,81027E-04	35	1,81029E-04
6	1,81358E-04	55	1,81360E-04
8	1,81405E-04	75	1,81407E-04
10	1,81412E-04	95	1,81415E-04
15	1,81413E-04	145	1,81416E-04

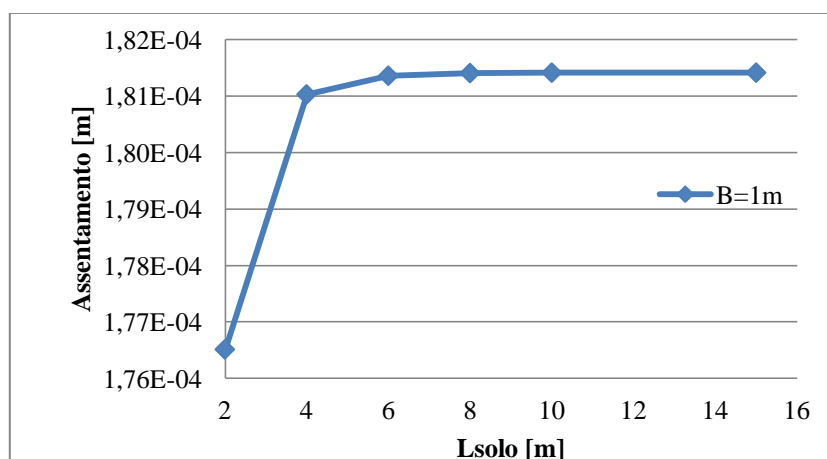


Figura 3.6 Assentamento em relação ao comprimento do solo da sapata corrida rígida

Por fim foi feito um ajuste do número de divisões debaixo da sapata, os resultados para o mesmo caso, agora com $L_{\text{solo}}=10\text{m}$ são dados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 Ajuste das divisões por baixo da sapata corrida rígida

Nº de divisões em B/2	Assentamento [m]
10	1,81180E-04
20	1,81412E-04
25	1,81459E-04
30	1,81491E-04
35	1,81513E-04
40	1,81530E-04

Apesar das poucas diferenças de resultados entre 20 e 30 divisões da sapata optou-se por fazer as malhas com divisão da sapata com proporção $30 \times B$, aproveitando assim ao máximo as capacidades dos computadores disponíveis.

Em conclusão o modelo de sapata corrida terá malhas progressivas com $30 \times B$ divisões debaixo da metade sapata, o comprimento do solo será da ordem $10 \times B$, este terá uma malha progressiva com 15 elementos no comprimento $L_{\text{solo}}-B/2$, 20 elementos na direção vertical, sendo que o primeiro elemento de cada um tem o comprimento de um elemento da sapata que é do tipo $B/2/30$. Na direção em que o modelo tem comprimento unitário será dividido em 2 elementos.

Sapata Retangular

No estudo da sapata retangular, dada a sua grande dimensão, com malhas refinadas facilmente são alcançados a capacidade da máquina de cálculo utilizada em termos de memória viva (RAM). Nesse caso o programa Mechpy não consegue resolver o problema ou, caso consiga utilizar o espaço para memória disponível em disco rígido, diminui o tempo em demasia. Dada esta limitação foi feito um estudo da malha para a sapata retangular rígida para determinar as dimensões dos elementos que otimizam os resultados.

Para este estudo foi considerada uma sapata retangular rígida de módulo $E_{\text{sapata}}=5 \times 10^{10} \text{ kN/m}^2$ e coeficiente de Poisson $\nu=0,3$, solicitada por uma carga distribuída $q=10 \text{ kN/m}^2$. O solo tem o módulo $E_{0,\text{solo}}=5 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ e $\nu=0,3$. A geometria do modelo é representada na Tabela 3.6. Na secção anterior foi definida a proporção $L_{\text{solo}}=10 \times B$, por isso para uma sapata com $B=1$ e $L=1$ os valores de $L_{\text{solo}}B$ e $L_{\text{solo}}L$ são 10 m.

Tabela 3.6 Geometria da sapata retangular

B [m]	L [m]	$L_{\text{solo}}B$ [m]	$L_{\text{solo}}L$ [m]	H [m]	H_{sap} [m]
1	1	10	10	5	0,5

Numa primeira hipótese é feito o estudo variando o número de divisões por baixo da sapata, mantendo sempre 15 elementos em $L_{soloB}-B/2$, 15 elementos em $L_{soloL}-L/2$ e 20 elementos em H como determinado para sapata corrida. Os resultados dessa primeira hipótese estão apresentados na Tabela 3.7, assim como o erro relativo entre o assentamento referente a 15 divisões e o assentamento referente as outras divisões em $B/2$ e $L/2$.

Tabela 3.7 Assentamento 1ª hipótese da sapata retangular rígida		
Nº de divisões em $B/2$ e $L/2$	Assentamento [m]	Erro Relativo [%]
4	1,3592E-04	1,11
6	1,3662E-04	0,60
8	1,3697E-04	0,35
10	1,3718E-04	0,20
15	1,3745E-04	

A expressão do erro relativo é dada por $erro_i = \frac{\delta_{15} - \delta_i}{\delta_{15}} \times 100\%$

Em que δ_{15} = assentamento do caso com 15 divisões em $B/2$ e $L/2$.

δ_i = assentamento do caso com i divisões em $B/2$ e $L/2$.

i = número de divisões do conjunto {4, 6, 8, 10}.

Para o caso da sapata com $B/2=L/2=1/2$, não foi possível efetuar para malhas com mais do que 15 divisões nas distâncias $B/2=L/2$. Mesmo este cálculo é já nos limites da capacidade do computador utilizado. Como se pretendia efetuar cálculos para diferentes razões de L/B , optou-se por uma malha menos refinada. A escolha recaiu a malha com 8 divisões por baixo da sapata, com um erro relativo do assentamento em relação ao melhor obtido inferior a 0,5 %.

Numa segunda hipótese procurando aumentar a dimensão da malha de forma que não varie muito o resultado, para 8 divisões em $B/2$ é estudado 2, 4 e 6 divisões em $L/2$.

Numa terceira hipótese, aceita 8 divisões em $B/2$, 4 divisões em $L/2$ e 10 elementos em todas as direções.

Os resultados da segunda e terceira hipótese estão na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 Assentamento 2ª e 3ª hipótese da sapata retangular rígida			
Nº de divisões em $B/2$	Nº de divisões em $L/2$	Assentamento da 2ª Hipótese [m]	Assentamento da 3ª hipótese [m]
8	2	1,3537E-04	-
8	4	1,3653E-04	1,3651E-04
8	6	1,3685E-04	-
8	8	1,3697E-04	-

Calculando o erro entre o melhor resultado com 15 divisões na primeira hipótese e o da terceira hipótese.

$$erro = \frac{\delta_{1a} - \delta_{3a}}{\delta_{1a}} \times 100\% = \frac{1,3745 - 1,3651}{1,3745} \times 100\% \approx 0,68\%$$

Com um erro menor que 1% entre o melhor resultado e a 3ª hipótese, foi definido então para o modelo de sapata retangular rígida. Uma malha com proporção $8 \times B$ divisões na dimensão $B/2$, $4 \times L$ divisões na dimensão $L/2$ e 10 elementos nas dimensões $L_{solo}B-B/2$, $L_{solo}L-L/2$ e na altura H .

3.4 Validação dos Resultados para Solo Homogêneo

3.4.1 Sapata Corrida

Para o modelo de sapata corrida, após determinar a dimensão dos elementos da malha e geometria do modelo, foi feita uma validação dos resultados obtidos com os valores de referência tabelados por Milovic (1992), calculados pelas expressões de Das (2006) e tabelados por Magalhães (2009), conforme os resultados anteriores estavam disponíveis.

Procurando fundamentar melhor esta validação, foi feito também o cálculo de assentamento pelo programa Mechpy, para uma sapata corrida flexível, com as mesmas características geométricas, mecânicas no solo, e de carregamento usadas no cálculo de assentamento para sapata corrida rígida na secção 3.3. A modelação de uma sapata flexível no programa Mechpy é feita com a aplicação da carga diretamente no solo.

Os resultados dos assentamentos para este caso de sapata flexível foram de $-2,17173 \times 10^{-4}$ m e $-1,41731 \times 10^{-4}$ m nos pontos de canto e centro da sapata respetivamente. Lembra-se que o assentamento calculado anteriormente na secção 3.3 foi de $1,81491 \times 10^{-4}$ m para uma sapata rígida, com $B=1$ e proporção $H/B=2$, num solo com características pseudo-elásticas $E=50000 \text{ kN/m}^2$ e $\nu=0,3$, solicitada com o carregamento distribuído $q=10 \text{ kN/m}^2$.

Com os valores já referidos de B , q , E e ν , foi calculado o valor do fator de influência I para os casos de assentamento da sapata corrida rígida e flexível recorrendo a Equação 2-1. A Tabela 3.9 apresenta a comparação entre os valores do fator I calculados pelo programa Mechpy e valores de referência. Lembra-se que os valores tabelados de Milovic (1992) e Magalhães (2009) são referentes a I_w , o que levam a que na Tabela 3.9 seja feita a conversão I_w para I . Como já foi referido $I=I_w \times (1-\nu^2)$.

Tabela 3.9 Validação para solo homogêneo com $\nu=0,3$ e $H/B=2$ da sapata corrida

Comportamento da sapata	Localização do Ponto	Milovic (1992)		Das (2006)	Magalhães (2009)		Mechpy
		I_w	I	I	I_w	I	I
Rígido	Centro	0,890	0,978	1,004	0,902	0,991	0,997
Flexível	Centro	1,084	1,191	1,068	1,100	1,209	1,193
	Canto	0,711	0,781	0,681	-	-	0,779

Os resultados de Mechpy são no geral próximos aos resultados referenciados. Mostra-se algumas diferenças quanto a variação da flexibilidade da sapata. No caso da sapata rígida, o resultado calculado pelo programa Mechpy está entre os dois valores de referência Milovic (1992) e Das (2006). No caso da sapata flexível, os valores calculados são mais próximos dos tabelados por Milovic (1992). É de notar que o resultado de Das (2006) para a sapata corrida flexível é ele mesmo afastado dos outros valores de referência. Os resultados do fator I calculado através do programa Plaxis por Magalhães (2009) são próximos aos calculados no programa Mechpy, especialmente no caso de sapata rígida.

Os resultados do fator I apresentados na Tabela 3.9, apesar de próximos, não são muito coerentes. Os valores de um autor não são sempre maiores ou menores que os outros, os resultados variam, de acordo com o ponto de cálculo e com a flexibilidade da sapata. Por exemplo, no caso de sapata corrida rígida, o maior valor do fator I corresponde ao obtido por Das (2006) e o segundo maior ao obtido no Mechpy. No caso de sapata corrida flexível no ponto central, o maior valor do fator I corresponde ao obtido no Plaxis por Magalhães (2009) e o segundo maior ao obtido no Mechpy. No caso de sapata corrida flexível no ponto de canto, o maior fator I corresponde à Milovic (1992) e o segundo ao obtido no Mechpy, não tendo valores do Plaxis por Magalhães (2009) para comparar.

De acordo com esta validação, em que os valores do fator I obtidos no Mechpy aproximam-se sempre de pelo menos um dos valores de referência, as dimensões da malha e geometria do modelo de sapata corrida rígida são admissíveis.

3.4.2 Sapata Retangular

Assim como no caso da sapata corrida, foi feita uma validação dos resultados do modelo de sapata retangular. Foi feito mais um cálculo assentamento pseudo-elástico para sapata retangular flexível, com mesmas características do cálculo de assentamento para sapata rígida. Os assentamentos determinados foram $-1,8828 \times 10^{-4}$ m e $-0,8631 \times 10^{-4}$ m nos pontos central e de canto da sapata flexível respetivamente.

Foi feito o cálculo do fator de influência I usando a Equação 2-1, com $B=1$ m, $q=10$ kN/m², $\nu=0,3$ e $E=50000$ kN/m². A Tabela 3.10 apresenta a comparação entre os valores do fator I calculados pelo programa Mechpy e valores de referência.

Tabela 3.10 Validação para solo homogéneo da sapata retangular com $L/B=1$, $H/B=5$ e $\nu=0,3$

Comportamento	Localização do Ponto	Milovic (1992)		Das (2006)	Magalhães (2009)		Mechpy
		I_w	I	I	I_w	I	I
Rígido	Centro	0,874	0,960	0,943	0,673	0,740	0,750
Flexível	Centro	0,925	1,016	1,014	0,953	1,047	1,035
	Canto	0,433	0,476	0,455	-	-	0,474

Os resultados determinados no presente trabalho com o programa Mechpy são sempre próximos a alguma referência. No caso de sapata retangular rígida, o resultado é próximo do resultado do Plaxis3D por Magalhães (2009). No caso de sapata retangular flexível no ponto central, também é mais próximo do resultado do Plaxis3D por Magalhães (2009). No caso de sapata retangular flexível no ponto de canto, os resultados de Milovic (1992) são mais próximos.

No caso da sapata retangular rígida, os resultados pelo programa Mechpy não são próximos aos resultados propostos por Milovic (1992) e Das (2006). Essa diferença pode ser causada por não ter sido empregue a melhor malha no programa Mechpy. Uma malha bastante refinada como foi usada no caso da sapata corrida não era possível de utilizar na sapata retangular pela limitação das capacidades dos computadores disponíveis.

É de notar que Das (2006) usa um fator de correção de flexibilidade de 0,93 da sapata flexível para rígida. Milovic (1992) não diz usar esse fator de correção, mas fazendo a operação de divisão entre o fator de influência de uma sapata rígida e flexível dos resultados disponíveis tabelados obtemos $0,960/1,016 \approx 0,94$.

Tendo em conta o fator de flexibilidade I_F , determinado por Brown (1969,b), foi feita uma aproximação do fator I para sapata retangular rígida pelo produto do fator I da sapata retangular flexível de Milovic (1992) e Das (2006) com $I_F = \pi/4$, para verificar se com este fator de flexibilidade os resultados do fator de influência para sapatas retangulares rígidas se aproximavam dos resultados calculados pelo programa Mechpy e Plaxis3D por Magalhães (2009). Os resultados calculados do fator I de sapatas retangulares rígidas de Milovic (1992) e Das (2006) estão apresentados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 Aproximação de fator I de sapatas rígidas com fator de flexibilidade I_F

		Milovic (1992)	Das (2006)
Sapata Flexível	I	1,016	1,014
Sapata Rígida	$I \times \pi/4$	0,798	0,796

Fazendo o produto do fator de flexibilidade pelo fator de influência da sapata retangular flexível, os resultados do fator de influência I da sapata retangular rígida calculados por Milovic e Das aproximam-se do valor calculado no presente trabalho pelo programa Mechpy.

3.5 Validação dos Resultados para Solo Heterogéneo

Foram feitos 3 cálculos de assentamento no programa Mechpy, para uma sapata corrida rígida com $B=2$ metros num solo heterogéneo com $\tilde{b}=1,5$, no intuito de as comparar com os resultados gráficos de Gazetas (1980). Os parâmetros mecânicos usados para a sapata foram os mesmos usados nos cálculos anteriores, de $E=5 \times 10^{10} \text{ kN/m}^2$ e $\nu=0,25$. Para o solo com $E=5 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ à superfície, foram definidos os parâmetros da equação de deformabilidade variável. A completa definição dos

parâmetros z_0 e E_0 está descrita na secção 4.2 no capítulo 4. Para os 3 cálculos efetuados foram usados os seguintes valores apresentados na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 Parâmetros mecânicos do solo heterogéneo

H [m]	E_0 [kN/m ²]	z_0 [m]
4	75000	4,66(6)
10		10,66(6)
20		20,66(6)

A Tabela 3.13 apresenta os valores dos assentamentos da sapata rígida causados pela aplicação da carga distribuída $q=10$ kN/m², para cada altura H. Calcula-se o coeficiente de carga e assentamento com a Equação 3-2 e é também apresentado os resultados na Tabela 3.13.

$$K_v = q \cdot B / \delta$$

Equação 3-2

Tabela 3.13 Valores de K_v com $\tilde{b}=1,5$

B [m]	H [m]	B/(2H)	Assentamento [m]	q [kN/m ²]	K_v [MPa]
2	4	0,25	1,52E-04	10	131,59
	10	0,10	1,74E-04		115,21
	20	0,05	1,82E-04		110,13

A Figura 3.7 apresenta o gráfico dos resultados de K_v por Gazetas (1980) referente a Tabela 2.13 para um $\tilde{b} = 1,5$, uma função polinomial que aproxima-se razoavelmente dos resultados de Gazetas (1980) e os 3 resultados calculados através do programa Mechpy. É possível visualizar através desta figura que os valores de Mechpy estão razoavelmente próximos dos valores de Gazetas (1980).

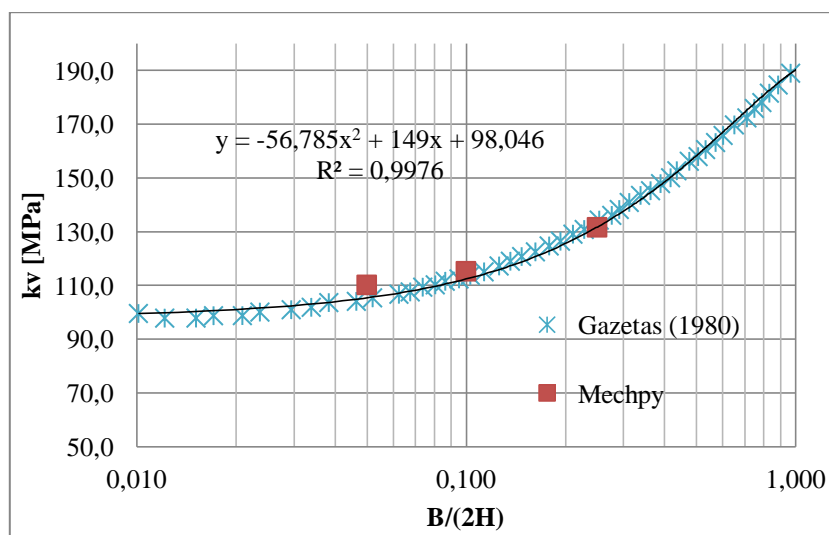


Figura 3.7 Comparações entre os Resultados de K_v da sapata corrida rígida

Capítulo 4

Resultados

4.1 Introdução

No presente capítulo apresenta inicialmente as considerações gerais feitas para o estudo do assentamento pseudo-elástico de sapatas finitas e infinitas num solo heterogéneo. Depois são apresentados alguns dos resultados de assentamento calculados com o programa Mechpy. Seguidamente é calculado o fator de influência e profundidade para os modelos de sapata corrida e retangular com dimensão variável.

4.2 Considerações Gerais

Neste capítulo será calculado o assentamento de sapatas rígidas, de forma geométrica corrida e retangular, provocado por uma carga distribuída na área da sapata. Para este estudo foi considerado uma sapata com um módulo de deformabilidade constante $E=5 \times 10^{10}$ kN/m² e coeficiente de Poisson $\nu=0,3$. A carga distribuída é de $q=10$ kN/m².

À semelhança do problema resolvido por Gazetas (1980), foi procurado uma relação do assentamento pseudo-elástico com o parâmetro \tilde{b} . Relembre-se que $\tilde{b} = b \cdot B/2$.

A Tabela 4.1, exprime os valores de \tilde{b} em função de b e B , em que b é um coeficiente de heterogeneidade e B a menor dimensão da sapata. Os valores de B estudados são 0,5; 1 e 2 metros.

Tabela 4.1 Valores de \tilde{b}			
b [m ⁻¹]	B [m]		
	0,5	1	2
0,25	0,0625	0,125	0,25
0,5	0,125	0,25	0,5
1	0,25	0,5	1
1,5	0,375	0,75	1,5
2	0,5	1	2
4	1	2	4

A expressão do módulo de deformabilidade da Equação 2-12 de Gazetas (1980) foi relacionada com a Equação 3-1 do Mechpy, tendo em conta que o referencial de Gazetas (1980) tem origem na base da sapata e sentido descendente e que no programa Mechpy tem a origem na base do solo e tem sentido ascendente. Estas disposições são ilustradas na Figura 4.1 e na Tabela 4.2.

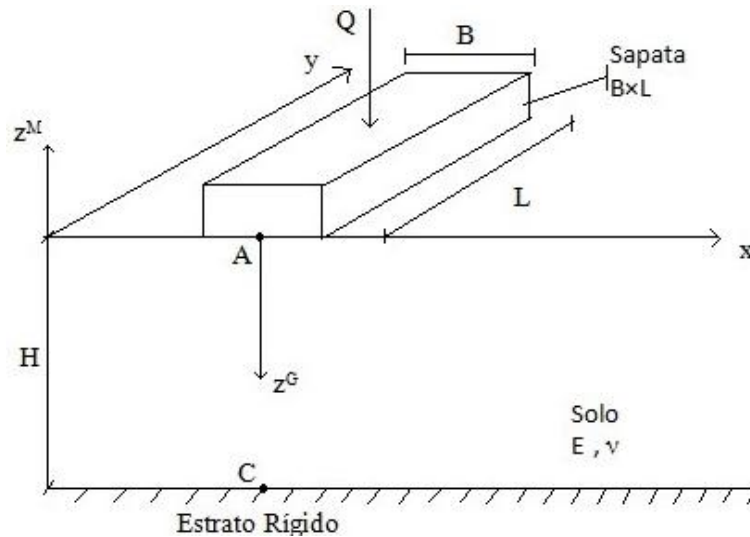


Figura 4.1 Referenciais de Mechpy e Gazetas (1980)

em que: B = menor dimensão horizontal da sapata

L = maior dimensão horizontal da sapata

Q = força aplicada

z^M = eixo vertical no referencial do programa Mechpy

z^G = eixo vertical no referencial adotado por Gazetas (1980)

E = módulo de deformabilidade

ν = coeficiente de Poisson

Tabela 4.2 Pontos no referencial

Ponto	Localização do ponto	z^G [m]	z^M [m]
A	Na superfície do solo	0	H
C	Na base do estrato Rígido	H	0

Calculando o módulo de elasticidade nestes dois pontos com a Equação 2-12 e a Equação 3-1,

$$\begin{cases} E(A) = E_0^G \cdot (1 + b \cdot 0) = E_0^M \cdot (z_0 - H)^n \\ E(C) = E_0^G \cdot (1 + b \cdot H) = E_0^M \cdot (z_0 - 0)^n \end{cases}$$

Equação 4-1

Resolvendo o sistema em ordem a z_0 e igualando temos as seguintes simplificações expressas pelas equações 4-2 à 4-5:

Solo homogêneo, com $b=0$ e $n=0$.

$$z_0 = H + 1$$

Equação 4-2

$$E_0^M = E_0^G$$

Equação 4-3

Solo heterogêneo, com $b>0$ e $n=1$.

$$z_0 = H + 1/b$$

Equação 4-4

$$E_0^M = b \cdot E_0^G$$

Equação 4-5

em que: E_0^M = módulo de deformabilidade de referência da Equação 3-1

E_0^G = módulo de deformabilidade de referência da Equação 2-12

H = altura do solo

z_0 = cota de referência da Equação 3-1

b = coeficiente de heterogeneidade da Equação 2-12

Definindo um valor do módulo de deformabilidade do solo à superfície e uma altura H , para diversos valores de b é fácil retirar os parâmetros z_0 e E_0 da Equação 3-1.

Foi definido para o estudo do assentamento de sapatas rígidas a superfície do solo, um valor do módulo de elasticidade de 50000 kN/m^2 , valores da largura B de 0,5; 1 e 2 metros, uma proporção H/B de 2; 5 e 10. Foram também utilizados valores de b com (0 ; 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 4) $[\text{m}^{-1}]$. A Tabela 4.3 e a Tabela 4.4 apresentam os valores dos parâmetros da equação do módulo de elasticidade definida no programa Mechpy usados na resolução do problema.

Tabela 4.3 Valores do parâmetros z_0

$b [\text{m}^{-1}]$			0	0,25	0,5	1	1,5	2	4
B [m]	H/B	H [m]	$z_0 [\text{m}]$						
0,5	2	1	1	5	3	2	1,66(7)	1,5	1,25
	5	2,5	2,5	6,5	4,5	3,5	3,166(7)	3	2,75
	10	5	5	9	7	6	5,66	5,5	5,25
1	2	2	2	6	4	3	2,66	2,5	2,25
	5	5	5	9	7	6	5,66	5,5	5,25
	10	10	10	14	12	11	10,66	10,5	10,25
2	2	4	4	8	6	5	4,66	4,5	4,25
	5	10	10	14	12	11	10,66	10,5	10,25
	10	20	20	24	22	21	20,66	20,5	20,25

Tabela 4.4 Valores do parâmetro E_0

$b [\text{m}^{-1}]$	0	0,25	0,5	1	1,5	2	4
$E_0 [\text{kN/m}^2]$	50000	12500	25000	50000	75000	100000	200000
n	0	1	1	1	1	1	1

4.3 Sapata Corrida Rígida

Neste subcapítulo serão citadas as tabelas em anexo com os resultados de assentamentos num ponto na base da sapata. Sendo a sapata rígida, em qualquer ponto na base da sapata o valor de assentamento é o mesmo. Também é mostrado as expressões usadas para o cálculo dos valores do fator de influência de assentamento I e a profundidade z_{eq} .

A Tabela A 1 do anexo apresenta os resultados do assentamento de uma sapata corrida rígida provocado pela carga distribuída $q=10\text{kN/m}^2$ em sua superfície, num solo com comportamento pseudo-elástico. Nesta tabela é variada a dimensão da largura B , a proporção H/B com 3 valores de coeficiente de Poisson.

O valor do fator de influência I é dado pela Equação 2-1, colocando em ordem a I fica:

$$I = \frac{\delta(z) \cdot E_{cte}}{q \cdot B \cdot (1 - \nu^2)}$$

Equação 4-6

Relembre-se que um dos objetivos do trabalho é o de calcular a profundidade equivalente (z_{eq}) num solo heterogêneo para a qual o valor do módulo de deformabilidade (E) corresponde ao mesmo assentamento de um cálculo feito com esse E constante ao longo da profundidade. Assim para estimar essa profundidade equivalente temos que substituir o valor de I constante na Equação 4-7 de assentamento em função de z_{eq} .

$$\delta_{var}(z_{eq}) = \frac{q \cdot B \cdot (1 - \nu^2) \cdot I_{cte}}{E_{var}(z_{eq})}$$

Equação 4-7

em que I_{cte} corresponde ao fator de influência num solo homogêneo ($b=0$) e E_{var} o módulo de deformabilidade em função da profundidade z_{eq} .

$$I_{cte} = \frac{\delta_{b=0} \cdot E_{cte}}{q \cdot B \cdot (1 - \nu^2)}$$

Equação 4-8

em que E_{cte} corresponde a um módulo de deformabilidade constante considerado no topo na camada de solo e $\delta_{b=0}$ corresponde ao valor do deslocamento vertical no solo homogêneo ($b=0$).

Substituindo a o correspondente I_{cte} da Equação 4-8 na Equação 4-7 e simplificando em ordem a δ_{var} fica,

$$\delta_{var}(z_{eq}) = \frac{E_{cte}}{E_{var}(z_{eq})} \cdot \delta_{b=0}$$

Equação 4-9

Substituindo E_{var} da Equação 2-12 na Equação 4-9 fica,

$$\delta_{var}(z_{eq}) = \frac{E_{cte}}{E_0 \cdot (1 + b \cdot z_{eq})} \cdot \delta_{b=0}$$

Equação 4-10

Sabendo que $E_{cte}=E_0$, em ordem a z_{eq} fica

$$z_{eq} = \frac{\frac{\delta_{b=0}}{\delta_{var}(z_{eq})} - 1}{b}$$

Equação 4-11

De acordo com a Equação 4-6, são apresentados na Tabela A 2 do anexo os resultados do fator de influência I.

De acordo com a Equação 4-11, na Tabela A 3 são apresentados os valores da profundidade equivalente z_{eq} . Foi calculado também a razão entre a profundidade equivalente e a correspondente dimensão B, esta razão foi chamada de coeficiente da profundidade z'_{eq} . A Tabela A 4 apresenta os resultados de z'_{eq} .

Os valores do fator de influência I mostram uma relação para o mesmo valor com o parâmetro \tilde{b} , assim como os valores da profundidade z_{eq} mostram relações com o parâmetro \tilde{b} e a largura B. Uma melhor visualização é feita nas Figuras 4.2 e 4.3 gráficos que mostram a evolução do fator I com o parâmetro \tilde{b} e a evolução do coeficiente z'_{eq} com \tilde{b} respectivamente, tendo em conta a proporção H/B, com um solo de coeficiente de Poisson $\nu=0,2$. As outras figuras referentes a evolução do fator de influência e do coeficiente z'_{eq} com coeficiente de Poisson $\nu=0,25$ e $\nu=0,3$ estão no anexo, são elas as figuras A 1, A 2, A 3 e A 4.

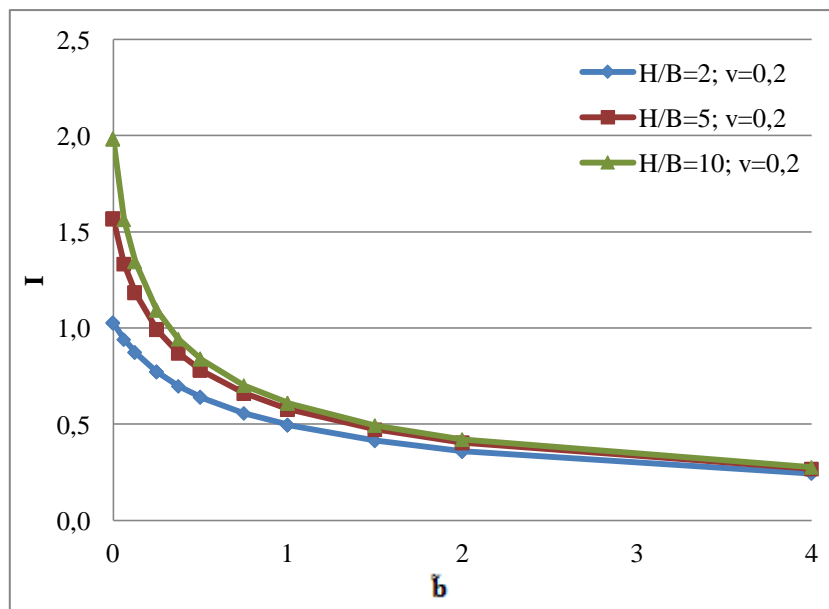


Figura 4.2 I vs \tilde{b} da sapata corrida rígida

É de notar na Figura 4.2 que o fator I segue uma relação com \tilde{b} independente do valor da largura B, seguindo apenas a razão H/B. E à medida que \tilde{b} aumenta, os valores do fator I tendem para um mesmo valor independente do valor da proporção H/B.

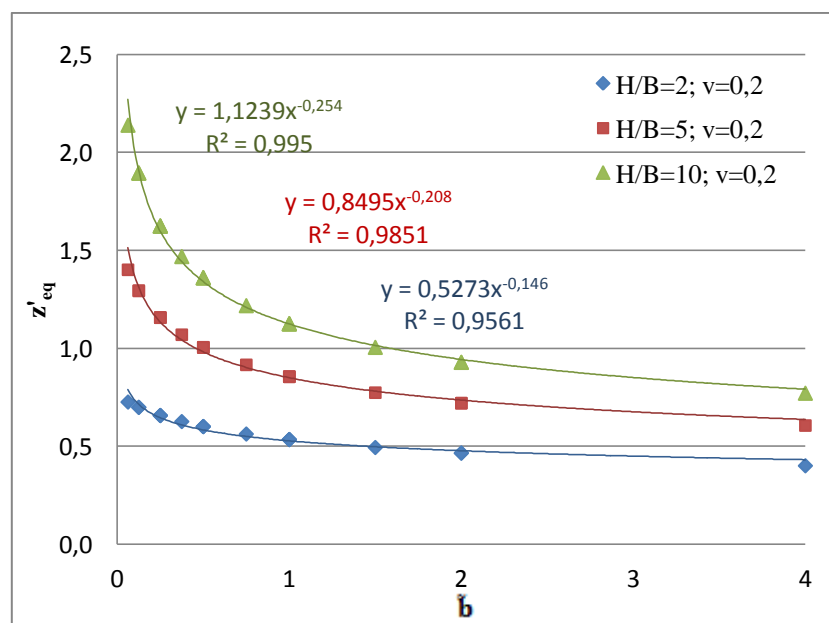


Figura 4.3 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} da sapata corrida rígida

Na Figura 4.3 apresenta-se também as linhas de tendência de tipo potencial que aproximam os valores para cada H/B em função de \tilde{b} .

4.4 Sapata Retangular Rígida

Neste subcapítulo são citadas as tabelas e gráficos em anexo com os resultados de assentamentos num ponto na base da sapata. Sendo a sapata rígida, em qualquer ponto na base da sapata o valor de assentamento é o mesmo.

As tabelas A 5, A 6 e A 7 do anexo apresentam os resultados do assentamento de uma sapata retangular rígida provocado pela carga distribuída $q=10\text{kN/m}^2$ em sua superfície, num solo com comportamento elástico. Nestas tabelas é variado a dimensão da largura B , a proporção H/B e L/B com 3 valores de coeficiente de Poisson ν .

Assim como no caso da sapata corrida, o fator de influência I foi calculado de acordo com a Equação 4-6. As tabelas A 8, A 9 e A 10 do anexo apresentam os resultados do fator I em função da largura B , das razões H/B e L/B , do coeficiente \tilde{b} e coeficiente de Poisson.

De acordo com a Equação 4-11, são apresentados no anexo as tabelas A 11, A 12 e A 13 dos resultados do cálculo da profundidade equivalente z_{eq} , para sapata retangular rígida, para o caso de sapata com $B=0,5$; 1 e 2 metros, fazendo variar as proporções H/B , L/B , coeficiente de Poisson e \tilde{b} .

Ainda são apresentadas no anexo as tabelas A 14, A 15 e A 16 com os valores do coeficiente z'_{eq} que é a razão entre os valores de z_{eq} e B , em função das razões H/B e L/B , do coeficiente \tilde{b} e coeficiente de Poisson.

Assim como no caso da sapata corrida, os valores do fator de influência I mostram uma relação para o mesmo valor com o parâmetro \tilde{b} . As Figuras 4.4 à 4.7 mostram a evolução do fator I com o parâmetro \tilde{b} , para um coeficiente de Poisson $\nu=0,2$, variando a razão H/B para cada razão L/B .

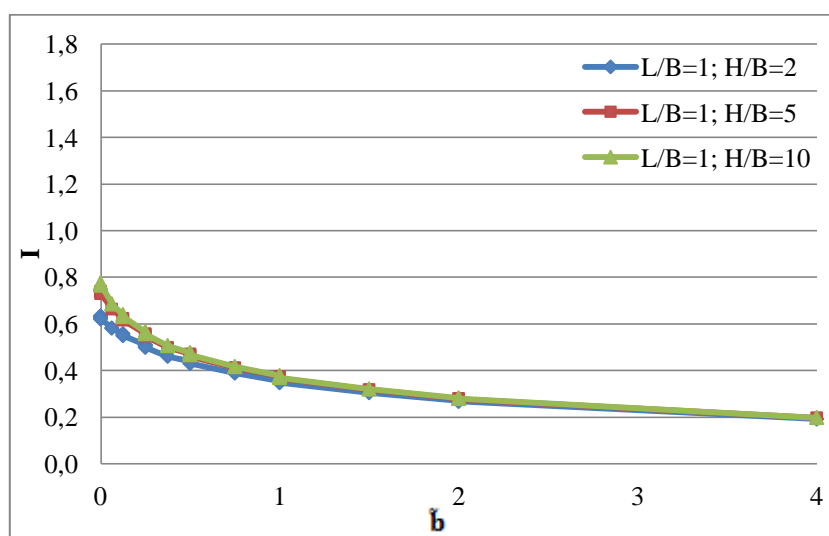


Figura 4.4 I vs \tilde{b} com $L/B=1$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$

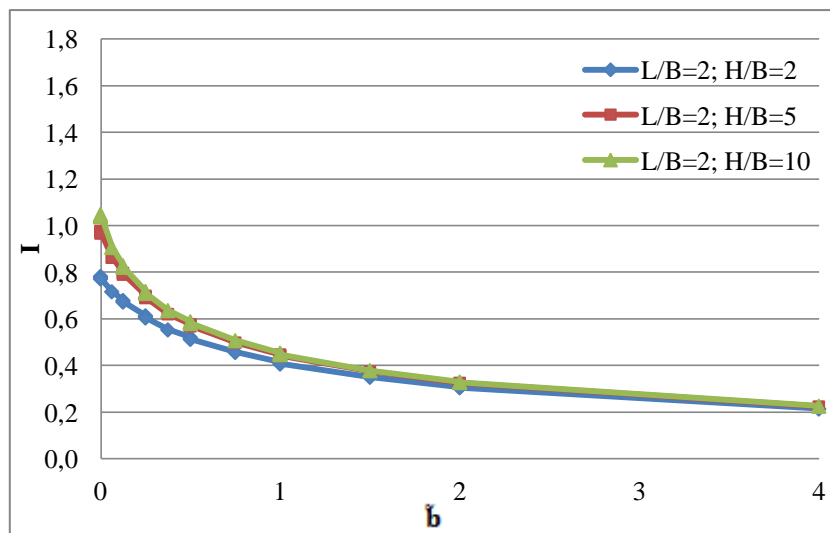


Figura 4.5 I vs \tilde{b} com $L/B=2$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$

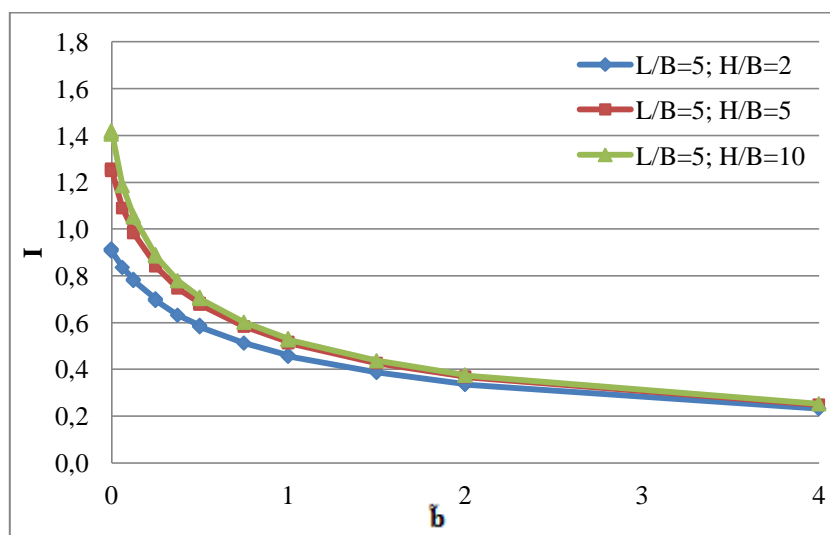


Figura 4.6 I vs \tilde{b} com $L/B=5$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$

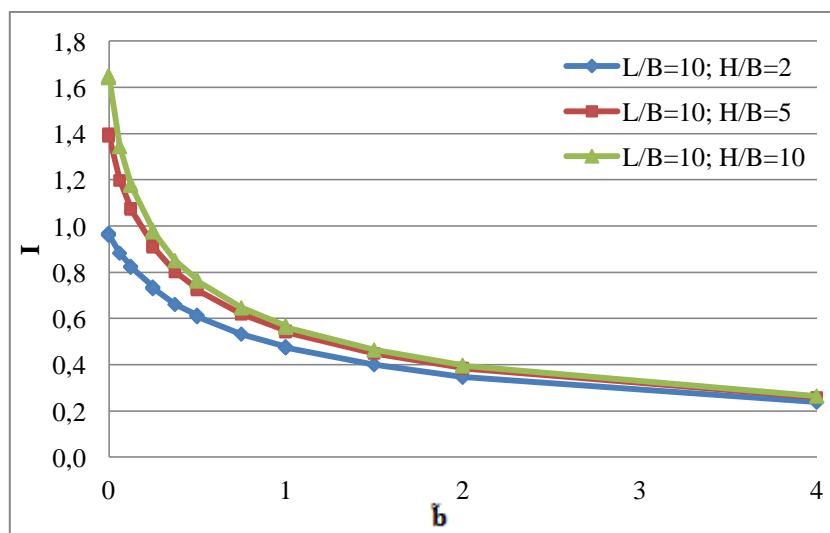


Figura 4.7 I vs \tilde{b} com $L/B=10$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$

Os valores da profundidade equivalente mostram relações com o parâmetro \tilde{b} e a largura B. As Figuras 4.8 à 4.11 apresentam a evolução do coeficiente z'_{eq} com \tilde{b} para cada razão L/B, tendo em conta a razão H/B, com um solo de coeficiente de Poisson $\nu=0,2$. As outras figuras que mostram a evolução do fator de influência e do coeficiente de profundidade para coeficiente de Poisson $\nu=0,25$ e $\nu=0,3$ estão apresentadas no anexo nas figuras A 5 à A 29.

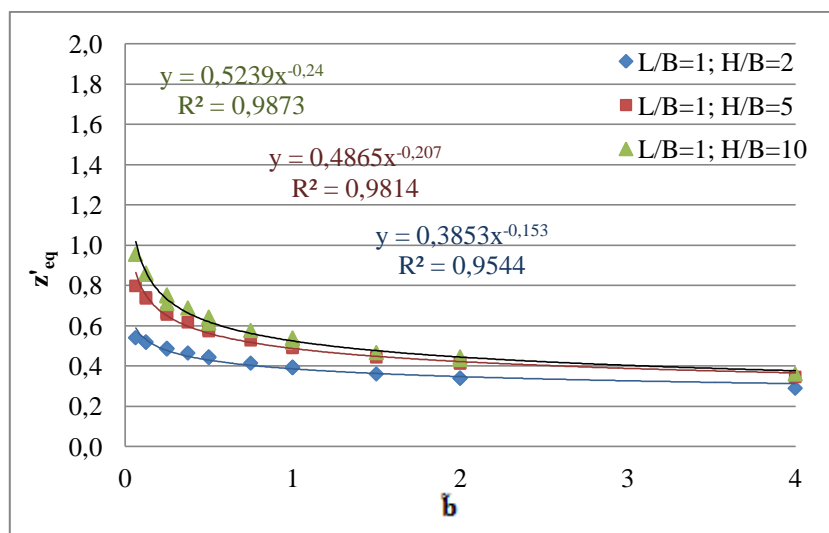


Figura 4.8 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $L/B=1$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$

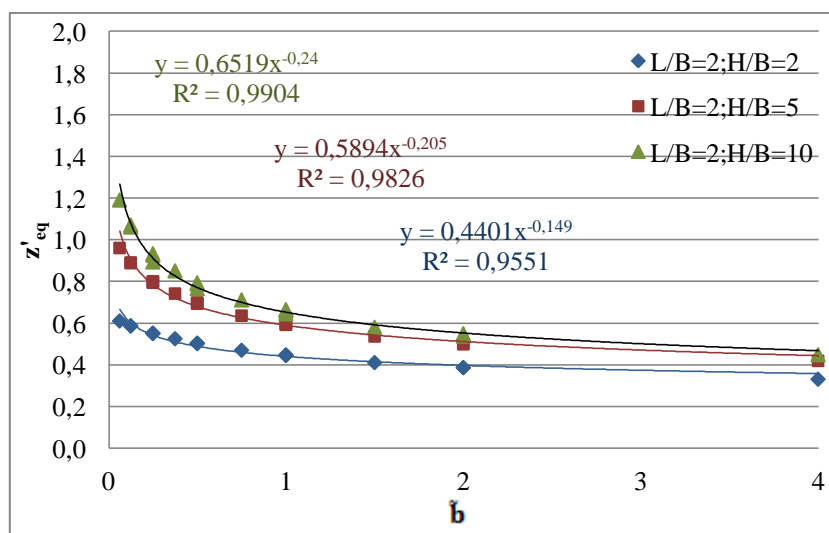


Figura 4.9 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $L/B=2$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$

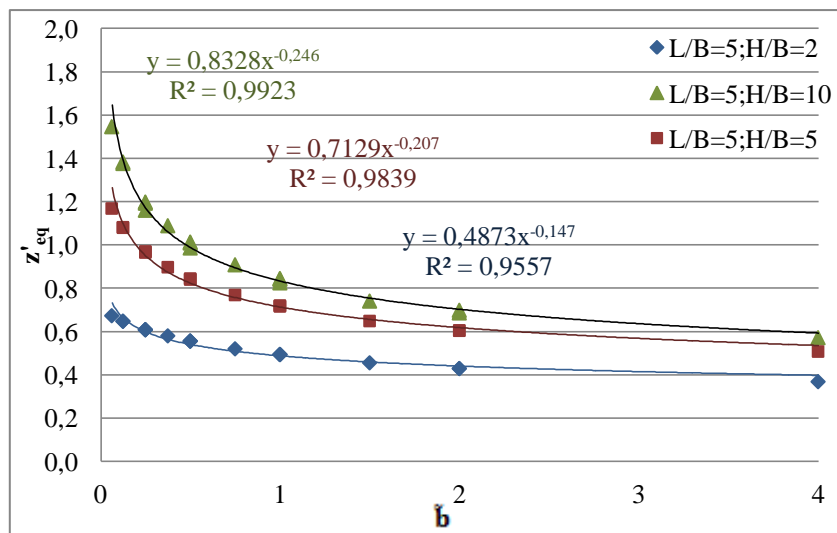


Figura 4.10 Coeficiente z'_{eq} vs b com $L/B=5$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$

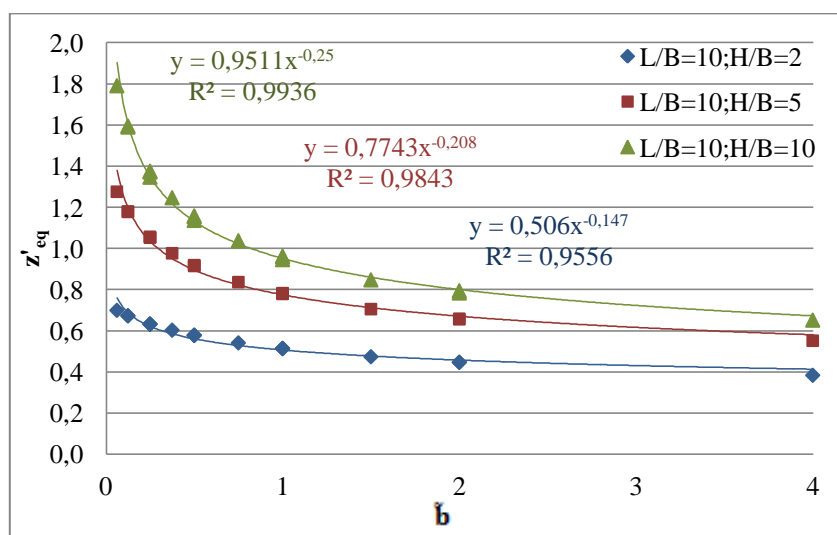


Figura 4.11 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $L/B=10$ da sapata retangular rígida com $\nu=0,2$

Capítulo 5

Discussão dos Resultados

5.1 Sapata Corrida Rígida

Os resultados do fator de influência para um solo homogêneo, como foi apresentado no subcapítulo 3.4, são próximos dos valores tabelados por Milovic (1992) e Magalhães (2009).

No caso de um solo heterogêneo, os resultados são diferentes para diferentes valores de razão H/B . Ao aumentar o valor do parâmetro \tilde{b} , para qualquer valor de largura B , os resultados do fator de influência tendem todos para um mesmo valor, independente da razão H/B .

A profundidade calculada para qualquer valor de largura B e para cada razão H/B , segue uma curva que pode ser aproximada muito razoavelmente por uma função potencial.

O coeficiente de Poisson influencia pouco, mas é de notar que quanto maior o coeficiente de Poisson, menor é o fator de influência. Para a profundidade equivalente, com maiores valores de coeficiente de Poisson são obtidos maiores valores de profundidade equivalente.

5.2 Sapata Retangular Rígida

No caso da sapata rígida num solo homogêneo, os resultados do fator de influência afastam-se dos de Milovic (1992) e Das (2006). Os resultados do presente trabalho são no entanto aproximados dos resultados de Magalhães (2009) calculados utilizando o programa Plaxis3D. Mas tendo em conta que a aproximação feita por Das (2006) pode não ser a melhor para o caso de sapata retangular, foi apresentado um fator de flexibilidade de Brown (1969b) em que multiplicado pelo fator de influência da sapata retangular flexível, chega a um fator para sapata retangular rígida que aproxima-se melhor dos resultados propostos pelo presente trabalho.

Como na sapata corrida, no caso de solo heterogêneo, os resultados são diferentes para diferentes valores de H/B . No entanto com o aumento do valor do parâmetro \tilde{b} , para qualquer valor de largura B , os resultados do fator de influência tendem todos para um mesmo valor. É de notar que à medida que a razão L/B aumenta os resultados aproximam-se do caso da sapata corrida.

Assim como no caso da sapata corrida, a profundidade calculada para qualquer valor de largura B e para cada razão H/B, segue uma curva que pode ser aproximada muito razoavelmente por uma função potencial. Também para este caso à medida que a razão L/B aumenta as funções potenciais aproximam-se das funções da sapata corrida.

Da mesma maneira para sapata retangular, o coeficiente de Poisson influencia pouco, mas é de notar que quanto maior o coeficiente de Poisson, menor é o fator de influência. Para a profundidade, com maiores valores do coeficiente de Poisson são obtidos maiores valores de profundidade.

Resolução de um Caso Prático

O caso prático de estudo foi proposto pelo professor Pedro Guedes de Melo, nas aulas de Obras Geotécnicas na FCT/UNL.

Trata a fundação de um pilar por sapata quadrada de 3,5 m de lado e 1 m de altura, num solo limitado por estrato rígido à 12 m de profundidade, sujeita a carga vertical aplicada no centro da sapata de 4,9MN. Da análise de todos os resultados de prospeção geotécnica, foi obtido:

- Ângulo de resistência ao corte, $\phi' = 37^\circ$
- Peso volúmico total, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$.

Sabe-se ainda que a variação do módulo de distorção em profundidade é definida por:

Módulo de distorção inicial $G_0 = 105000 \cdot \left(\frac{p'}{100}\right)^{0,5}$, com G_0 e p' em kPa e $p' = \frac{\sigma'_{v0} + 2 \cdot \sigma'_{h0}}{3}$

É considerado $G = G_0$

Resolução:

- i) Cálculo do módulo de deformabilidade e comparação entre as expressões

Com as expressões de tensão vertical e horizontal:

$$\sigma'_{v0} = \gamma \cdot z$$

Equação 5-1

$$\sigma'_{h0} = (1 - \sin \phi') \cdot \sigma'_{v0}$$

Equação 5-2

foram calculados o valores do módulo de distorção e do módulo de deformabilidade pela teoria da elasticidade em função da profundidade z.

Como no nosso estudo, o valor de E não é nulo à superfície e a sapata será colocada a 1 metro de profundidade, foi considerado o módulo de deformabilidade a superfície igual ao módulo de deformabilidade calculado na à 1 metro de profundidade.

Substituindo os valores,

$$E(1)=92,082 \text{ MPa} = E_0.$$

Através da Equação 2-12, é calculado o valor de b ,

$$E(z) = E_0 \cdot (1 + b \cdot z)^n$$

$$E(12) = 318,982 = 92,082 \cdot (1 + b \cdot 12)^1$$

$$b \approx 0,205 [m^{-1}]$$

Com os valores de E_0 e b , foi calculado o valor do módulo de deformabilidade em função da profundidade através da Equação 2-12.

A Figura 5.1 apresenta a comparação do módulo de deformabilidade em função da profundidade calculado para este problema.

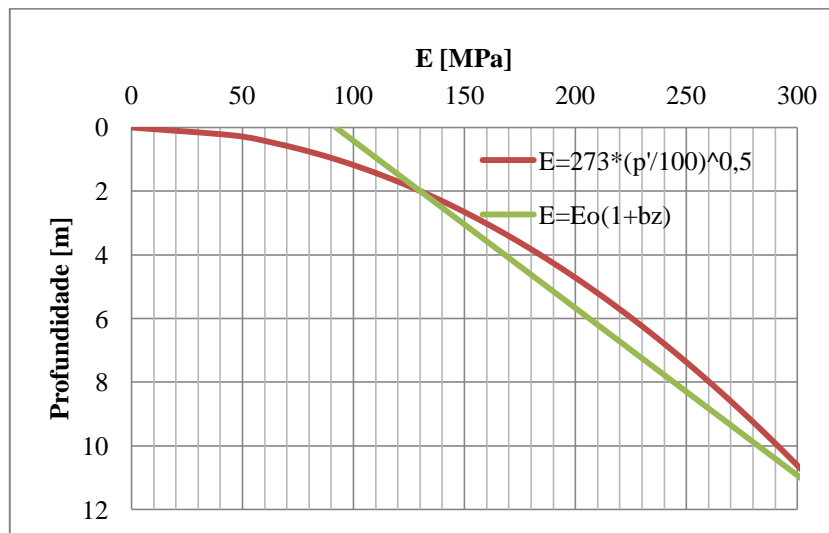


Figura 5.1 Comparação dos resultados do módulo de deformabilidade

Vizualiza-se na Figura 5.1 que a expressão linear usada no presente trabalho com $E_0=92,082 \text{ MPa}$ aproxima-se da expressão usada pelo professor Pedro Guedes de Melo.

ii) Cálculo de \tilde{b}

Através da Equação 2-13 é calculado \tilde{b}

$$\tilde{b} = b \cdot \frac{B}{2} = 0,205 \cdot \frac{3,5}{2} \approx 0,359$$

iii) Cálculo do assentamento.

com,

$$\tilde{b} = 0,359$$

$$\nu=0,3$$

$$\frac{H}{B} = \frac{12}{3,5} = 3,43$$

$$\frac{L}{B} = 1$$

Os valores dos fatores I e I_{cte} são retirados da tabela A 8 e o valor de z'_{eq} é retirado da tabela A 14 do anexo. De acordo com a Tabela A 8 temos os resultados de I e I_0 apresentados na Tabela 5.1. Da mesma forma apresenta-se na Tabela 5.2 os valores do coeficiente z'_{eq} de acordo com a Tabela A 14.

Tabela 5.1 Valores de I e I_0

H/B	I_0	\tilde{b}	I
2	0,625	0,25	0,498
		0,375	0,458
5	0,742	0,25	0,549
		0,375	0,498

Tabela 5.2 Valores de z'_{eq}

H/B	\tilde{b}	z'_{eq}
2	0,25	0,512
	0,375	0,488
5	0,25	0,703
	0,375	0,653

É feita uma interpolação para encontrar os valores de I , I_{cte} e z'_{eq} em que são utilizadas as equações 5-3 e 5-4.

$$y = \frac{(x_2 - x) \cdot (y_1 - y_2)}{x_2 - x_1} + y_2$$

Equação 5-3

$$y = \frac{(x - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} + y_1$$

Equação 5-4

Calcula-se I para $H/B=2$ e $H/B=5$ usando a Equação 5-3 e substituindo pelos valores da Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Valores de I

H/B	\tilde{b}	I
2	$x_1 = 0,25$	$y_1 = 0,498$
	$x = 0,359$	y
	$x_2 = 0,375$	$y_2 = 0,458$
5	$x_1 = 0,25$	$y_1 = 0,549$
	$x = 0,359$	y
	$x_2 = 0,375$	$y_2 = 0,498$

$$I\left(\frac{H}{B} = 2\right) = \frac{(0,375 - 0,359) \cdot (0,498 - 0,458)}{0,375 - 0,25} + 0,458 = 0,463$$

$$I\left(\frac{H}{B} = 5\right) = \frac{(0,375 - 0,359) \cdot (0,549 - 0,498)}{0,375 - 0,25} + 0,498 = 0,505$$

Usando agora a Equação 5-4 e substituindo os valores em que: $x=H/B=3,43$; $x_1=H/B=2$; $x_2=H/B=5$; $y=I(H/B=3,43)$; $y_1=I(H/B=2)=0,463$; $y_2=I(H/B=5)=0,505$;

$$I\left(\frac{H}{B} = 3,43; \tilde{b} = 0,359\right) = \frac{(3,43 - 2) \cdot (0,505 - 0,463)}{5 - 2} + 0,463 = 0,483$$

Com a mesma equação 5-4 é calculado o valor de I_{cte} substituindo os valores em que: $x=H/B=3,43$; $x_1=H/B=2$; $x_2=H/B=5$; $y=I_{cte}(H/B=3,43)$; $y_1=I_{cte}(H/B=2)=0,625$; $y_2=I_{cte}(H/B=5)=0,742$;

$$I_{cte}\left(\frac{H}{B} = 3,43; \tilde{b} = 0,359\right) = \frac{(3,43 - 2) \cdot (0,742 - 0,625)}{5 - 2} + 0,625 = 0,681$$

Da mesma forma com equação 5-3 é calculado o valor de z'_{eq} substituindo os valores da Tabela 5.4:

Tabela 5.4 Valores de z'_{eq}		
H/B	\tilde{b}	z'_{eq}
2	$x_1 = 0,25$	$y_1 = 0,512$
	$x = 0,359$	y
	$x_2 = 0,375$	$y_2 = 0,488$
5	$x_1 = 0,25$	$y_1 = 0,703$
	$x = 0,359$	y
	$x_2 = 0,375$	$y_2 = 0,653$

$$z'_{eq}\left(\frac{H}{B} = 2\right) = \frac{(0,375 - 0,359) \cdot (0,512 - 0,488)}{0,375 - 0,25} + 0,488 = 0,491$$

$$z'_{eq}\left(\frac{H}{B} = 5\right) = \frac{(0,375 - 0,359) \cdot (0,703 - 0,653)}{0,375 - 0,25} + 0,653 = 0,659$$

Usando agora a Equação 5-4 e substituindo os valores em que: $x=H/B=3,43$; $x_1=H/B=2$; $x_2=H/B=5$; $y=z'_{eq}(H/B=3,43)$; $y_1=z'_{eq}(H/B=2)=0,491$; $y_2=z'_{eq}(H/B=5)=0,659$;

$$z'_{eq}\left(\frac{H}{B} = 3,43; \tilde{b} = 0,359\right) = \frac{(3,43 - 2) \cdot (0,659 - 0,491)}{5 - 2} + 0,491 = 0,571$$

Finalmente é calculado o assentamento usando a expressão geral,

$$\delta = \frac{q \cdot B \cdot (1 - \nu^2)}{E_0} \cdot I = \frac{(4,9/3,5^2) \cdot 3,5 \cdot (1 - 0,3^2)}{92,082} \cdot 0,483 \approx 0,0067 [m]$$

Calcula-se a profundidade equivalente, $z_{eq} = z'_{eq} \cdot B = 0,571 \cdot 3,5 \approx 2,0 m$

Com esta profundidade, na Figura 5.1 corresponde à um $E \approx 130 \text{ MPa}$.

Assim, da mesma forma utilizando a expressão geral é calculado o assentamento,

$$\delta = \frac{q \cdot B \cdot (1 - \nu^2)}{E} \cdot I_{cte} = \frac{(4,9/3,5^2) \cdot 3,5 \cdot (1 - 0,3^2)}{130} \cdot 0,681 \approx 0,0067 [m]$$

Capítulo 6

Conclusão

No presente trabalho os objetivos iniciais de calcular um fator de influência de assentamento e uma profundidade equivalente em que para o mesmo módulo de deformabilidade, o assentamento era o mesmo em solos homogêneos e heterogêneos, foram atingidos.

As referências da literatura de Brown (1969,a), Brown (1969,b), Gazetas (1980), Milovic (1992), Das (2006) e Magalhães (2009) serviram como base na validação das primeiras soluções propostas no presente trabalho.

O cálculo de assentamento pseudo-elástico foi feito no programa Mechpy, no qual foi implementado a função do módulo de deformabilidade variável em profundidade.

Depois de uma análise dos resultados, o presente trabalho propõe tabelas para sapatas rígidas corridas e retangulares, em que conhecendo-se: a razão entre a altura do solo e a menor dimensão da sapata (H/B), a razão geométrica entre a maior e menor dimensão da sapata em planta (L/B), a variação do módulo de deformabilidade com a profundidade e o coeficiente de Poisson do solo, é possível retirar os valores do fator de influência de assentamento I e do coeficiente z'_{eq} . O produto deste coeficiente com a dimensão B da sapata resulta no valor da profundidade equivalente.

O exemplo de aplicação prática mostrou que é possível efetuar o cálculo de assentamento de solos heterogêneos analiticamente, usando as soluções das tabelas propostas.

Desenvolvimentos Futuros

Existem ainda pontos de interesse relacionados com o tema abordado. Sugere-se algumas linhas de investigação no intuito de complementar o tema.

- Estudo do assentamento pseudo-elástico de sapatas rígidas em solos com outras leis de variação de rigidez.
- Estudo do assentamento pseudo-elástico de sapatas rígidas sobre multicamadas de solos.
- Estudo do assentamento pseudo-elástico de sapatas rígidas com forma geométrica circular.

- Estudo da influência da forma e excentricidade da carga aplicada na sapata, exemplo: (carga distribuída triangular, carga pontual excêntrica)
- Estudo do assentamento pseudo-elástico de sapatas rígidas num solo incompressível correspondendo a carregamento de solos finos saturados (carregamento em condições não drenadas)

Bibliografia

- Brown, P. T. (1969,a). *Numerical analyses of uniformly loaded circular rafts on elastic layer of finite depth*. Géotechnique, Vol.19, pp 301-306.
- Brown, P. T. (1969,b). *Numerical analyses of uniformly loaded circular rafts on deep elastic foundations*. Géotechnique, Vol.19, pp 399-404.
- Das, B. M. (2006). *Principles of Geotechnical Engineering*, 7th Edition. Stanford, Cengage Learning.
- Fox, E. N, (1948). *The mean elastic settlement of a uniformly loadds area at a depth below the ground surface*. Proc. 2nd Int. Conf. Soil Mech. Fndn. Eng, Rotterdam, Vol.1, pp.129-132.
- Gazetas, G. (1980). *Static and dynamic displacements of foundation on heterogeneous multilayered soils*. Géotechnique, Vol.30, pp.159-177.
- Harr, M. E, (1966). *Foundations of theoretical soil mechanics*. Mc Graw Hill, New York.
- Magalhães, T. I. S. (2009). *Estudo do Assentamento elástico de fundações superficiais*. Dissertação de mestrado em engenharia civil - Especialização em geotecnia, FEUP, Porto.
- Melo, P. G, (2014). *Aulas práticas de Obras Geotécnicas*, Problema 3. DEC, FCT-UNL.
- Milovic, D. M, (1992). *Stresses and Displacements for Shallow Foundations*. Elsevier, Amsterdam.
- Milovic, D. M. e Tournier, J. P., (1971). *Stresses and displacements due to rectangular load on a layer of finite thickness*. Soils and Foundations, Vol.11, pp. 1-27.
- Milovic, D. M. e Tournier, J. P., (1973). *Stresses and displacements due to rigid rectangular foundation on a layer of finite thickness*. Soils and Foundations, Vol.13, pp. 29-43.
- Poulos, H. G.; Davis, E. (1974). *Elastic solution for soil and rock mechanics*. Wiley, New York.
- Steinbrenner, W. (1934). *Tafeln zur Setzungsberechnung, Die Strasse*, Vol.1, pp. 121-124.
- Plaxis 2D, *Tutorial Manual* (2016).

Anexo

Tabela A 1 Resultados dos assentamentos $\times 10^{-4}$ [m] da sapata corrida rígida

H/B	b	B = 0,5m			B = 1m			B = 2m		
		v=0,2	v=0,25	v=0,3	v=0,2	v=0,25	v=0,3	v=0,2	v=0,25	v=0,3
2	0	0,985	0,951	0,906	1,974	1,907	1,815	3,950	3,815	3,631
	0,25	0,903	0,871	0,828	1,680	1,620	1,538	2,972	2,861	2,712
	0,5	0,838	0,808	0,768	1,485	1,430	1,356	2,467	2,369	2,239
	1	0,741	0,713	0,676	1,233	1,184	1,119	1,909	1,827	1,720
	1,5	0,670	0,644	0,610	1,070	1,026	0,967	1,591	1,520	1,426
	2	0,615	0,591	0,558	0,954	0,913	0,859	1,379	1,316	1,232
	4	0,476	0,455	0,429	0,689	0,657	0,616	0,939	0,892	0,830
5	0	1,504	1,461	1,401	3,013	2,925	2,806	6,027	5,852	5,614
	0,25	1,280	1,241	1,188	2,276	2,203	2,107	3,818	3,688	3,517
	0,5	1,136	1,100	1,052	1,908	1,843	1,758	3,006	2,895	2,750
	1	0,952	0,920	0,877	1,502	1,447	1,374	2,224	2,133	2,016
	1,5	0,834	0,805	0,766	1,269	1,219	1,155	1,814	1,736	1,635
	2	0,750	0,722	0,686	1,111	1,066	1,008	1,552	1,483	1,393
	4	0,554	0,532	0,503	0,776	0,741	0,696	1,030	0,980	0,915
10	0	1,903	1,849	1,774	3,810	3,703	3,553	7,622	7,408	7,107
	0,25	1,501	1,456	1,394	2,585	2,503	2,392	4,206	4,062	3,872
	0,5	1,291	1,250	1,194	2,102	2,030	1,935	3,230	3,109	2,952
	1	1,049	1,013	0,966	1,614	1,554	1,476	2,345	2,249	2,125
	1,5	0,905	0,873	0,830	1,347	1,294	1,226	1,898	1,816	1,710
	2	0,806	0,776	0,736	1,172	1,124	1,062	1,616	1,544	1,450
	4	0,585	0,561	0,530	0,808	0,771	0,725	1,063	1,011	0,944

Tabela A 2 Fator de influência da sapata corrida rígida

H/B	B = 0,5m				B = 1m				B = 2m			
	\tilde{b}	v			\tilde{b}	v			\tilde{b}	v		
		0,2	0,25	0,3		0,2	0,25	0,3		0,2	0,25	0,3
2	0	1,026	1,015	0,995	0	1,028	1,017	0,997	0	1,029	1,017	0,998
	0,0625	0,941	0,929	0,910	0,125	0,875	0,864	0,845	0,25	0,774	0,763	0,745
	0,125	0,873	0,862	0,844	0,25	0,774	0,763	0,745	0,5	0,642	0,632	0,615
	0,25	0,772	0,761	0,743	0,5	0,642	0,631	0,615	1	0,497	0,487	0,472
	0,375	0,698	0,687	0,670	0,75	0,557	0,547	0,532	1,5	0,414	0,405	0,392
	0,5	0,641	0,630	0,613	1	0,497	0,487	0,472	2	0,359	0,351	0,338
	1	0,495	0,486	0,471	2	0,359	0,351	0,338	4	0,244	0,238	0,228
5	0	1,567	1,558	1,540	0	1,569	1,560	1,542	0	1,570	1,561	1,542
	0,0625	1,333	1,323	1,306	0,125	1,186	1,175	1,157	0,25	0,994	0,984	0,966
	0,125	1,184	1,173	1,156	0,25	0,994	0,983	0,966	0,5	0,783	0,772	0,755
	0,25	0,992	0,981	0,964	0,5	0,782	0,772	0,755	1	0,579	0,569	0,554
	0,375	0,869	0,858	0,841	0,75	0,661	0,650	0,634	1,5	0,472	0,463	0,449
	0,5	0,781	0,770	0,754	1	0,579	0,569	0,554	2	0,404	0,395	0,383
	1	0,578	0,567	0,552	2	0,404	0,395	0,383	4	0,268	0,261	0,251
10	0	1,982	1,973	1,950	0	1,984	1,975	1,952	0	1,985	1,975	1,953
	0,0625	1,564	1,553	1,531	0,125	1,347	1,335	1,314	0,25	1,095	1,083	1,064
	0,125	1,345	1,333	1,312	0,25	1,095	1,083	1,063	0,5	0,841	0,829	0,811
	0,25	1,093	1,081	1,062	0,5	0,841	0,829	0,811	1	0,611	0,600	0,584
	0,375	0,943	0,931	0,912	0,75	0,702	0,690	0,674	1,5	0,494	0,484	0,470
	0,5	0,839	0,827	0,809	1	0,610	0,599	0,584	2	0,421	0,412	0,398
	1	0,609	0,598	0,582	2	0,421	0,411	0,398	4	0,277	0,270	0,259

Tabela A 3 Valores da profundidade z_{eq} [m] da sapata corrida rígida

H/B	B =0,5 m				B =1 m				B= 2 m			
	\tilde{b}	v			\tilde{b}	v			\tilde{b}	v		
		0,2	0,25	0,3		0,2	0,25	0,3		0,2	0,25	0,3
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,0625	0,363	0,368	0,373	0,125	0,699	0,708	0,719	0,25	1,315	1,333	1,355
	0,125	0,350	0,354	0,360	0,25	0,658	0,667	0,678	0,5	1,202	1,221	1,244
	0,25	0,329	0,334	0,339	0,5	0,601	0,610	0,622	1	1,069	1,088	1,112
	0,375	0,313	0,318	0,324	0,75	0,563	0,572	0,584	1,5	0,988	1,007	1,031
	0,5	0,301	0,305	0,311	1	0,535	0,544	0,556	2	0,932	0,950	0,974
	1	0,268	0,272	0,278	2	0,466	0,475	0,487	4	0,802	0,820	0,843
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,0625	0,701	0,709	0,717	0,125	1,294	1,310	1,328	0,25	2,314	2,347	2,386
	0,125	0,647	0,656	0,665	0,25	1,157	1,174	1,193	0,5	2,010	2,043	2,084
	0,25	0,579	0,587	0,597	0,5	1,005	1,022	1,042	1	1,711	1,744	1,785
	0,375	0,535	0,543	0,553	0,75	0,916	0,933	0,953	1,5	1,548	1,581	1,622
	0,5	0,503	0,511	0,522	1	0,856	0,872	0,893	2	1,441	1,473	1,514
	1	0,428	0,437	0,447	2	0,721	0,737	0,757	4	1,213	1,243	1,284
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,0625	1,070	1,082	1,093	0,125	1,895	1,919	1,941	0,25	3,248	3,295	3,342
	0,125	0,948	0,960	0,971	0,25	1,625	1,648	1,671	0,5	2,720	2,765	2,814
	0,25	0,813	0,825	0,837	0,5	1,360	1,383	1,408	1	2,250	2,294	2,344
	0,375	0,735	0,746	0,758	0,75	1,219	1,241	1,266	1,5	2,011	2,054	2,104
	0,5	0,681	0,692	0,705	1	1,125	1,147	1,172	2	1,858	1,900	1,950
	1	0,563	0,574	0,587	2	0,929	0,950	0,975	4	1,543	1,582	1,632

Tabela A 4 Resultados do coeficiente z'_{eq} da sapata corrida rígida

H/B	B =0,5 m				B =1 m				B= 2 m			
	\tilde{b}	v			\tilde{b}	v			\tilde{b}	v		
		0,2	0,25	0,3		0,2	0,25	0,3		0,2	0,25	0,3
2	0	0,000	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000
	0,0625	0,726	0,735	0,746	0,125	0,699	0,708	0,719	0,25	0,657	0,667	0,678
	0,125	0,700	0,709	0,719	0,25	0,658	0,667	0,678	0,5	0,601	0,610	0,622
	0,25	0,658	0,667	0,678	0,5	0,601	0,610	0,622	1	0,535	0,544	0,556
	0,375	0,627	0,636	0,647	0,75	0,563	0,572	0,584	1,5	0,494	0,503	0,515
	0,5	0,602	0,611	0,622	1	0,535	0,544	0,556	2	0,466	0,475	0,487
	1	0,535	0,545	0,556	2	0,466	0,475	0,487	4	0,401	0,410	0,422
5	0	0,000	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000
	0,0625	1,402	1,418	1,435	0,125	1,294	1,310	1,328	0,25	1,157	1,174	1,193
	0,125	1,295	1,311	1,329	0,25	1,157	1,174	1,193	0,5	1,005	1,022	1,042
	0,25	1,158	1,175	1,194	0,5	1,005	1,022	1,042	1	0,855	0,872	0,892
	0,375	1,070	1,087	1,107	0,75	0,916	0,933	0,953	1,5	0,774	0,790	0,811
	0,5	1,006	1,023	1,043	1	0,856	0,872	0,893	2	0,721	0,737	0,757
	1	0,857	0,873	0,894	2	0,721	0,737	0,757	4	0,606	0,622	0,642
10	0	0,000	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000
	0,0625	2,140	2,164	2,186	0,125	1,895	1,919	1,941	0,25	1,624	1,647	1,671
	0,125	1,896	1,920	1,943	0,25	1,625	1,648	1,671	0,5	1,360	1,383	1,407
	0,25	1,626	1,650	1,673	0,5	1,360	1,383	1,408	1	1,125	1,147	1,172
	0,375	1,469	1,492	1,516	0,75	1,219	1,241	1,266	1,5	1,006	1,027	1,052
	0,5	1,362	1,385	1,409	1	1,125	1,147	1,172	2	0,929	0,950	0,975
	1	1,127	1,149	1,174	2	0,929	0,950	0,975	4	0,771	0,791	0,816

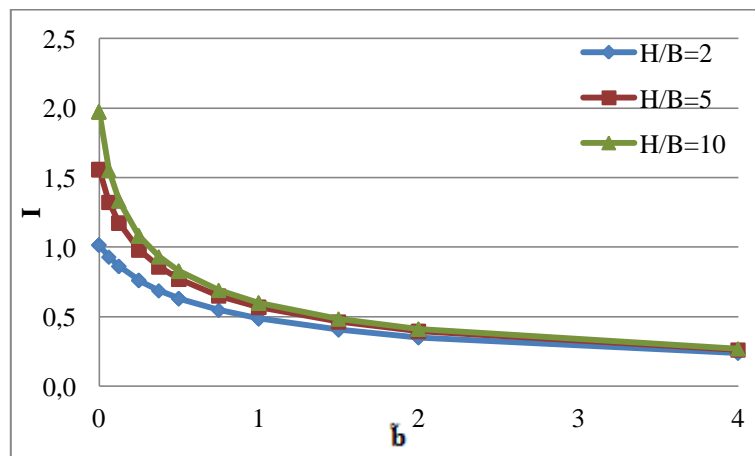


Figura A 1 I vs \tilde{b} com $\nu=0,25$ da sapata corrida rígida

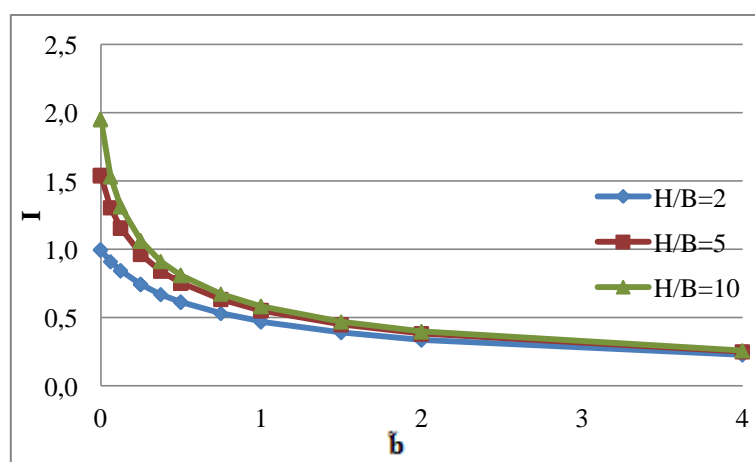


Figura A 2 I vs \tilde{b} com $\nu=0,3$ da sapata corrida rígida

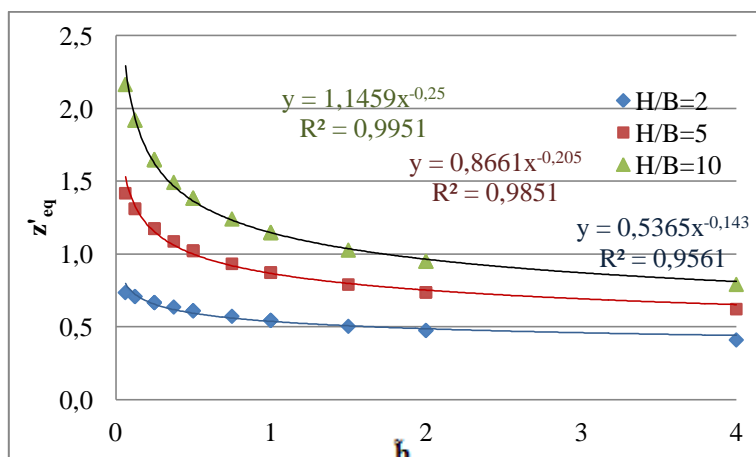


Figura A 3 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $v=0,25$ da sapata corrida rígida

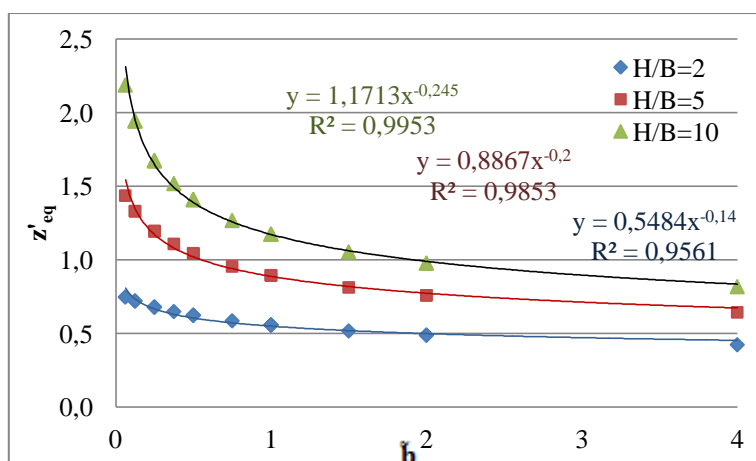


Figura A 4 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $v=0,3$ da sapata corrida rígida

Tabela A 5 Assentamento $\times 10^{-4}$ [m] com B=0,5m da sapata retangular rígida

H/B	b	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	0,596	0,585	0,569	0,741	0,725	0,702	0,869	0,845	0,812	0,922	0,894	0,855
	0,25	0,558	0,547	0,531	0,689	0,672	0,650	0,802	0,779	0,747	0,848	0,821	0,784
	0,5	0,527	0,516	0,501	0,646	0,630	0,608	0,748	0,726	0,695	0,789	0,763	0,728
	1	0,479	0,468	0,453	0,581	0,565	0,544	0,666	0,645	0,616	0,700	0,676	0,644
	1,5	0,442	0,431	0,416	0,531	0,516	0,496	0,606	0,585	0,558	0,635	0,612	0,582
	2	0,413	0,402	0,387	0,492	0,478	0,458	0,558	0,539	0,513	0,584	0,562	0,534
	4	0,333	0,323	0,310	0,391	0,378	0,360	0,437	0,420	0,398	0,454	0,436	0,412
	5	0,305	0,296	0,284	0,361	0,349	0,338	0,413	0,396	0,379	0,432	0,416	0,394
5	0	0,700	0,690	0,675	0,929	0,914	0,893	1,198	1,175	1,141	1,333	1,302	1,259
	0,25	0,636	0,626	0,611	0,829	0,814	0,793	1,045	1,022	0,990	1,150	1,121	1,081
	0,5	0,591	0,580	0,565	0,759	0,744	0,723	0,943	0,920	0,889	1,030	1,002	0,964
	1	0,525	0,514	0,499	0,663	0,648	0,627	0,807	0,785	0,756	0,872	0,846	0,812
	1,5	0,479	0,468	0,453	0,596	0,581	0,561	0,716	0,695	0,668	0,770	0,745	0,713
	2	0,443	0,432	0,417	0,546	0,532	0,512	0,649	0,629	0,603	0,695	0,672	0,641
	4	0,351	0,341	0,328	0,423	0,410	0,392	0,491	0,473	0,451	0,520	0,500	0,475
10	0	0,736	0,726	0,712	1,001	0,987	0,966	1,358	1,335	1,302	1,580	1,549	1,504
	0,25	0,658	0,647	0,632	0,871	0,856	0,835	1,138	1,115	1,082	1,291	1,261	1,219
	0,5	0,606	0,595	0,580	0,789	0,774	0,753	1,009	0,986	0,955	1,129	1,100	1,061
	1	0,535	0,524	0,509	0,682	0,667	0,646	0,849	0,827	0,797	0,936	0,909	0,873
	1,5	0,486	0,475	0,460	0,611	0,595	0,575	0,747	0,726	0,698	0,816	0,791	0,758
	2	0,449	0,438	0,423	0,558	0,543	0,523	0,674	0,654	0,627	0,732	0,708	0,677
	4	0,355	0,344	0,331	0,429	0,416	0,398	0,505	0,487	0,464	0,540	0,520	0,494

Tabela A 6 Assentamento $\times 10^{-4}$ [m] com B=1m da sapata retangular rígida

H/B	b	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	1,208	1,185	1,153	1,496	1,463	1,416	1,750	1,701	1,633	1,853	1,796	1,718
	0,25	1,070	1,047	1,015	1,305	1,273	1,228	1,506	1,460	1,398	1,586	1,534	1,464
	0,5	0,972	0,950	0,919	1,173	1,142	1,099	1,341	1,298	1,241	1,408	1,360	1,294
	1	0,838	0,816	0,786	0,995	0,966	0,926	1,124	1,085	1,033	1,175	1,131	1,073
	1,5	0,746	0,725	0,696	0,877	0,849	0,811	0,982	0,946	0,898	1,023	0,983	0,931
	2	0,677	0,657	0,630	0,790	0,764	0,728	0,880	0,846	0,802	0,914	0,877	0,829
	4	0,513	0,495	0,471	0,587	0,564	0,534	0,643	0,616	0,580	0,665	0,635	0,597
5	0	1,416	1,396	1,365	1,872	1,842	1,799	2,409	2,361	2,294	2,678	2,615	2,529
	0,25	1,196	1,174	1,144	1,532	1,501	1,458	1,897	1,851	1,788	2,069	2,012	1,936
	0,5	1,064	1,042	1,012	1,338	1,307	1,265	1,623	1,579	1,520	1,753	1,701	1,631
	1	0,898	0,876	0,846	1,103	1,073	1,034	1,307	1,266	1,213	1,397	1,350	1,289
	1,5	0,791	0,770	0,741	0,958	0,929	0,891	1,118	1,081	1,032	1,188	1,145	1,090
	2	0,714	0,693	0,665	0,855	0,828	0,792	0,988	0,953	0,908	1,045	1,006	0,955
	4	0,533	0,515	0,491	0,623	0,600	0,570	0,704	0,675	0,638	0,737	0,706	0,666
10	0	1,489	1,469	1,438	2,014	1,985	1,941	2,726	2,680	2,612	3,170	3,106	3,015
	0,25	1,227	1,205	1,174	1,592	1,560	1,516	2,028	1,981	1,917	2,268	2,209	2,130
	0,5	1,084	1,062	1,031	1,376	1,345	1,302	1,707	1,662	1,602	1,880	1,826	1,754
	1	0,910	0,887	0,857	1,126	1,095	1,055	1,356	1,315	1,261	1,471	1,423	1,360
	1,5	0,799	0,778	0,749	0,974	0,945	0,906	1,153	1,115	1,065	1,241	1,196	1,140
	2	0,720	0,699	0,671	0,867	0,840	0,804	1,016	0,980	0,933	1,086	1,046	0,993
	4	0,537	0,518	0,494	0,629	0,606	0,576	0,718	0,689	0,652	0,759	0,727	0,686

Tabela A 7 Assentamento $\times 10^{-4}$ [m] com B=2m da sapata retangular rígida

H/B	b	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	2,431	2,385	2,320	3,007	2,939	2,844	3,511	3,413	3,276	3,722	3,607	3,450
	0,25	1,958	1,912	1,849	2,357	2,294	2,207	2,692	2,605	2,489	2,829	2,731	2,600
	0,5	1,687	1,643	1,583	2,001	1,941	1,860	2,256	2,178	2,073	2,360	2,273	2,156
	1	1,365	1,324	1,269	1,589	1,535	1,464	1,766	1,698	1,609	1,838	1,763	1,665
	1,5	1,170	1,131	1,080	1,345	1,296	1,231	1,482	1,422	1,342	1,537	1,472	1,386
	2	1,034	0,997	0,950	1,180	1,134	1,074	1,291	1,236	1,165	1,337	1,277	1,200
	4	0,735	0,705	0,667	0,823	0,787	0,740	0,888	0,846	0,792	0,915	0,871	0,813
5	0	2,842	2,800	2,737	3,755	3,694	3,603	4,828	4,730	4,591	5,375	5,248	5,071
	0,25	2,141	2,096	2,033	2,687	2,624	2,538	3,255	3,166	3,046	3,522	3,416	3,275
	0,5	1,808	1,763	1,702	2,216	2,156	2,075	2,622	2,540	2,432	2,807	2,713	2,589
	1	1,437	1,395	1,339	1,718	1,663	1,590	1,983	1,912	1,820	2,101	2,022	1,919
	1,5	1,221	1,182	1,130	1,438	1,387	1,321	1,637	1,574	1,492	1,726	1,656	1,566
	2	1,074	1,037	0,989	1,252	1,205	1,144	1,412	1,355	1,281	1,483	1,420	1,339
	4	0,757	0,726	0,687	0,862	0,825	0,777	0,953	0,909	0,854	0,993	0,947	0,887
10	0	2,944	2,905	2,846	3,988	3,932	3,846	5,397	5,306	5,170	6,308	6,182	5,998
	0,25	2,173	2,128	2,065	2,756	2,692	2,605	3,414	3,323	3,201	3,770	3,660	3,513
	0,5	1,827	1,782	1,721	2,257	2,196	2,114	2,716	2,632	2,522	2,953	2,855	2,727
	1	1,448	1,405	1,349	1,741	1,685	1,612	2,035	1,963	1,869	2,182	2,090	1,994
	1,5	1,229	1,189	1,137	1,454	1,403	1,336	1,674	1,609	1,526	1,781	1,690	1,617
	2	1,080	1,043	0,994	1,264	1,217	1,156	1,440	1,382	1,307	1,526	1,462	1,379
	4	0,760	0,729	0,690	0,868	0,831	0,783	0,967	0,923	0,867	1,015	0,968	0,907

Tabela A 8 Fator de influência I com B=0,5 da sapata retangular rígida

H/B	b	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	0,621	0,624	0,625	0,772	0,773	0,771	0,906	0,902	0,892	0,960	0,953	0,939
	0,0625	0,581	0,584	0,584	0,717	0,717	0,714	0,835	0,831	0,821	0,883	0,876	0,862
	0,125	0,549	0,551	0,550	0,673	0,672	0,668	0,779	0,774	0,764	0,822	0,814	0,800
	0,25	0,499	0,499	0,498	0,605	0,603	0,598	0,694	0,688	0,677	0,729	0,721	0,707
	0,375	0,461	0,460	0,458	0,554	0,551	0,545	0,631	0,624	0,614	0,661	0,653	0,639
	0,5	0,430	0,429	0,426	0,513	0,510	0,504	0,581	0,575	0,564	0,608	0,600	0,587
	1	0,347	0,345	0,341	0,407	0,403	0,396	0,455	0,448	0,437	0,473	0,465	0,453
5	0	0,729	0,736	0,742	0,967	0,975	0,981	1,248	1,253	1,254	1,389	1,389	1,384
	0,0625	0,663	0,668	0,671	0,864	0,868	0,871	1,089	1,090	1,088	1,198	1,195	1,188
	0,125	0,615	0,619	0,621	0,791	0,794	0,794	0,982	0,982	0,977	1,072	1,068	1,059
	0,25	0,547	0,549	0,549	0,691	0,691	0,689	0,840	0,837	0,831	0,909	0,903	0,892
	0,375	0,499	0,499	0,498	0,621	0,620	0,617	0,746	0,742	0,734	0,802	0,795	0,784
	0,5	0,461	0,461	0,459	0,569	0,567	0,563	0,676	0,671	0,663	0,724	0,716	0,705
	1	0,366	0,364	0,360	0,441	0,437	0,431	0,511	0,505	0,495	0,541	0,534	0,522
10	0	0,767	0,775	0,782	1,043	1,052	1,061	1,414	1,424	1,431	1,645	1,652	1,653
	0,0625	0,685	0,691	0,695	0,907	0,913	0,917	1,185	1,189	1,189	1,344	1,345	1,340
	0,125	0,631	0,635	0,637	0,822	0,826	0,827	1,051	1,052	1,049	1,176	1,174	1,166
	0,25	0,557	0,559	0,559	0,711	0,711	0,710	0,884	0,882	0,876	0,975	0,970	0,960
	0,375	0,506	0,507	0,505	0,636	0,635	0,632	0,778	0,774	0,767	0,850	0,844	0,833
	0,5	0,467	0,467	0,465	0,581	0,579	0,575	0,702	0,697	0,689	0,763	0,755	0,744
	1	0,369	0,367	0,364	0,447	0,443	0,437	0,526	0,519	0,510	0,563	0,555	0,543

Tabela A 9 Fator de influência I com B=1 m da sapata retangular rígida

H/B	b	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	0,629	0,632	0,633	0,779	0,780	0,778	0,911	0,907	0,897	0,965	0,958	0,944
	0,125	0,557	0,558	0,558	0,680	0,679	0,675	0,784	0,779	0,768	0,826	0,818	0,804
	0,25	0,506	0,506	0,505	0,611	0,609	0,604	0,699	0,692	0,682	0,733	0,725	0,711
	0,5	0,436	0,435	0,432	0,518	0,515	0,509	0,585	0,579	0,568	0,612	0,603	0,590
	0,75	0,388	0,386	0,383	0,457	0,453	0,446	0,512	0,505	0,494	0,533	0,524	0,511
	1	0,353	0,350	0,346	0,412	0,407	0,400	0,458	0,451	0,440	0,476	0,468	0,455
	2	0,267	0,264	0,259	0,305	0,301	0,294	0,335	0,328	0,319	0,346	0,339	0,328
5	0	0,738	0,744	0,750	0,975	0,983	0,988	1,255	1,259	1,260	1,395	1,395	1,389
	0,125	0,623	0,626	0,628	0,798	0,800	0,801	0,988	0,987	0,983	1,077	1,073	1,064
	0,25	0,554	0,556	0,556	0,697	0,697	0,695	0,845	0,842	0,835	0,913	0,907	0,896
	0,5	0,468	0,467	0,465	0,575	0,572	0,568	0,681	0,675	0,667	0,728	0,720	0,708
	0,75	0,412	0,410	0,407	0,499	0,495	0,490	0,582	0,576	0,567	0,619	0,611	0,599
	1	0,372	0,370	0,366	0,445	0,441	0,435	0,515	0,508	0,499	0,544	0,536	0,525
	2	0,278	0,275	0,270	0,324	0,320	0,313	0,366	0,360	0,351	0,384	0,377	0,366
10	0	0,776	0,783	0,790	1,049	1,059	1,067	1,420	1,429	1,435	1,651	1,657	1,657
	0,125	0,639	0,643	0,645	0,829	0,832	0,833	1,056	1,057	1,053	1,181	1,178	1,170
	0,25	0,565	0,566	0,566	0,717	0,717	0,715	0,889	0,886	0,880	0,979	0,974	0,964
	0,5	0,474	0,473	0,471	0,586	0,584	0,580	0,706	0,701	0,693	0,766	0,759	0,747
	0,75	0,416	0,415	0,411	0,507	0,504	0,498	0,601	0,595	0,585	0,646	0,638	0,626
	1	0,375	0,373	0,369	0,452	0,448	0,441	0,529	0,522	0,513	0,566	0,558	0,546
	2	0,279	0,276	0,271	0,328	0,323	0,316	0,374	0,368	0,358	0,395	0,388	0,377

Tabela A 10 Fator de influência I com B=2m da sapata retangular rígida

H/B	b	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	0,633	0,636	0,637	0,783	0,784	0,781	0,914	0,910	0,900	0,969	0,962	0,948
	0,25	0,510	0,510	0,508	0,614	0,612	0,606	0,701	0,695	0,684	0,737	0,728	0,714
	0,5	0,439	0,438	0,435	0,521	0,518	0,511	0,588	0,581	0,570	0,615	0,606	0,592
	1	0,356	0,353	0,349	0,414	0,409	0,402	0,460	0,453	0,442	0,479	0,470	0,458
	1,5	0,305	0,302	0,297	0,350	0,346	0,338	0,386	0,379	0,369	0,400	0,392	0,381
	2	0,269	0,266	0,261	0,307	0,302	0,295	0,336	0,330	0,320	0,348	0,341	0,330
	4	0,191	0,188	0,183	0,214	0,210	0,203	0,231	0,226	0,218	0,238	0,232	0,223
5	0	0,740	0,747	0,752	0,978	0,985	0,990	1,257	1,261	1,261	1,400	1,399	1,393
	0,25	0,558	0,559	0,558	0,700	0,700	0,697	0,848	0,844	0,837	0,917	0,911	0,900
	0,5	0,471	0,470	0,468	0,577	0,575	0,570	0,683	0,677	0,668	0,731	0,723	0,711
	1	0,374	0,372	0,368	0,447	0,443	0,437	0,516	0,510	0,500	0,547	0,539	0,527
	1,5	0,318	0,315	0,310	0,374	0,370	0,363	0,426	0,420	0,410	0,449	0,442	0,430
	2	0,280	0,277	0,272	0,326	0,321	0,314	0,368	0,361	0,352	0,386	0,379	0,368
	4	0,197	0,194	0,189	0,224	0,220	0,214	0,248	0,243	0,235	0,259	0,252	0,244
10	0	0,767	0,775	0,782	1,039	1,049	1,056	1,405	1,415	1,420	1,643	1,649	1,648
	0,25	0,566	0,567	0,567	0,718	0,718	0,716	0,889	0,886	0,879	0,982	0,976	0,965
	0,5	0,476	0,475	0,473	0,588	0,586	0,581	0,707	0,702	0,693	0,769	0,761	0,749
	1	0,377	0,375	0,371	0,453	0,449	0,443	0,530	0,523	0,513	0,568	0,557	0,548
	1,5	0,320	0,317	0,312	0,379	0,374	0,367	0,436	0,429	0,419	0,464	0,452	0,444
	2	0,281	0,278	0,273	0,329	0,324	0,317	0,375	0,368	0,359	0,397	0,390	0,379
	4	0,198	0,194	0,190	0,226	0,222	0,215	0,252	0,246	0,238	0,264	0,258	0,249

Tabela A 11 Profundidade z_{eq} [m] com $B=0,5$ m da sapata retangular rígida

H/B	\tilde{b}	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,0625	0,270	0,275	0,282	0,306	0,312	0,319	0,337	0,342	0,349	0,350	0,355	0,360
	0,125	0,259	0,265	0,272	0,294	0,300	0,307	0,324	0,330	0,336	0,337	0,342	0,348
	0,25	0,244	0,249	0,256	0,277	0,282	0,290	0,305	0,311	0,317	0,317	0,322	0,328
	0,375	0,232	0,237	0,244	0,263	0,269	0,276	0,290	0,296	0,303	0,301	0,306	0,313
	0,5	0,222	0,228	0,234	0,252	0,258	0,265	0,279	0,284	0,291	0,289	0,294	0,301
	1	0,197	0,202	0,209	0,224	0,230	0,237	0,248	0,253	0,260	0,257	0,262	0,269
5	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,0625	0,398	0,408	0,419	0,481	0,492	0,505	0,585	0,597	0,610	0,638	0,649	0,661
	0,125	0,370	0,379	0,390	0,446	0,457	0,470	0,541	0,553	0,567	0,590	0,600	0,613
	0,25	0,332	0,341	0,352	0,401	0,411	0,424	0,485	0,497	0,510	0,528	0,539	0,551
	0,375	0,308	0,316	0,327	0,371	0,381	0,394	0,449	0,460	0,473	0,488	0,498	0,511
	0,5	0,290	0,298	0,308	0,350	0,360	0,372	0,423	0,433	0,446	0,459	0,469	0,482
	1	0,248	0,255	0,265	0,299	0,308	0,319	0,360	0,370	0,383	0,391	0,401	0,413
10	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,0625	0,477	0,489	0,502	0,596	0,611	0,628	0,774	0,792	0,812	0,895	0,914	0,934
	0,125	0,430	0,441	0,454	0,536	0,550	0,566	0,692	0,709	0,729	0,797	0,815	0,834
	0,25	0,376	0,386	0,398	0,467	0,480	0,495	0,600	0,615	0,634	0,688	0,704	0,722
	0,375	0,343	0,353	0,365	0,426	0,438	0,453	0,545	0,560	0,577	0,623	0,638	0,656
	0,5	0,321	0,330	0,341	0,397	0,409	0,423	0,507	0,521	0,539	0,579	0,594	0,611
	1	0,269	0,277	0,288	0,333	0,343	0,357	0,423	0,436	0,452	0,481	0,494	0,511

Tabela A 12 Profundidade z_{eq} [m] com B=1m da sapata retangular rígida

H/B	\tilde{b}	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,125	0,516	0,528	0,541	0,587	0,599	0,613	0,648	0,659	0,672	0,672	0,682	0,694
	0,25	0,485	0,496	0,510	0,552	0,563	0,578	0,609	0,620	0,633	0,632	0,642	0,655
	0,5	0,442	0,453	0,466	0,504	0,515	0,530	0,557	0,567	0,581	0,578	0,588	0,601
	0,75	0,413	0,424	0,437	0,471	0,482	0,497	0,521	0,532	0,545	0,541	0,551	0,564
	1	0,391	0,402	0,415	0,447	0,458	0,472	0,495	0,505	0,519	0,514	0,524	0,537
	2	0,339	0,349	0,362	0,388	0,399	0,413	0,430	0,441	0,454	0,447	0,457	0,470
5	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,125	0,735	0,753	0,775	0,889	0,910	0,936	1,081	1,104	1,131	1,178	1,199	1,224
	0,25	0,661	0,678	0,699	0,799	0,819	0,844	0,969	0,991	1,018	1,054	1,075	1,100
	0,5	0,577	0,593	0,613	0,697	0,717	0,740	0,843	0,865	0,891	0,917	0,937	0,962
	0,75	0,527	0,542	0,561	0,637	0,655	0,679	0,770	0,790	0,816	0,836	0,856	0,880
	1	0,492	0,507	0,526	0,595	0,613	0,636	0,719	0,739	0,764	0,781	0,800	0,824
	2	0,414	0,428	0,445	0,502	0,518	0,539	0,606	0,624	0,648	0,658	0,676	0,699
10	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,125	0,854	0,877	0,902	1,062	1,090	1,122	1,377	1,411	1,449	1,590	1,624	1,662
	0,25	0,747	0,767	0,791	0,927	0,952	0,982	1,194	1,225	1,261	1,371	1,403	1,439
	0,5	0,637	0,655	0,678	0,789	0,812	0,840	1,010	1,038	1,072	1,154	1,183	1,218
	0,75	0,575	0,593	0,614	0,712	0,734	0,761	0,909	0,936	0,968	1,037	1,064	1,097
	1	0,534	0,551	0,571	0,661	0,682	0,708	0,842	0,868	0,899	0,959	0,986	1,018
	2	0,444	0,459	0,478	0,550	0,569	0,593	0,699	0,722	0,751	0,794	0,818	0,849

Tabela A 13 Profundidade z_{eq} [m] com B=2m da sapata retangular rígida

H/B	\tilde{b}	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,25	0,968	0,990	1,017	1,102	1,126	1,154	1,217	1,239	1,266	1,263	1,283	1,308
	0,5	0,882	0,904	0,931	1,006	1,029	1,058	1,112	1,134	1,161	1,154	1,174	1,199
	1	0,781	0,802	0,828	0,892	0,915	0,943	0,988	1,010	1,036	1,026	1,046	1,071
	1,5	0,719	0,740	0,766	0,823	0,845	0,873	0,912	0,934	0,960	0,947	0,967	0,993
	2	0,676	0,696	0,721	0,775	0,796	0,824	0,859	0,880	0,907	0,892	0,912	0,938
	4	0,577	0,596	0,620	0,664	0,684	0,711	0,738	0,758	0,784	0,767	0,786	0,811
5	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,25	1,309	1,344	1,385	1,590	1,631	1,679	1,932	1,976	2,028	2,104	2,145	2,193
	0,5	1,144	1,177	1,216	1,389	1,427	1,474	1,683	1,725	1,775	1,829	1,869	1,917
	1	0,977	1,007	1,044	1,186	1,222	1,266	1,435	1,474	1,522	1,558	1,595	1,642
	1,5	0,885	0,913	0,948	1,074	1,108	1,151	1,299	1,337	1,384	1,410	1,446	1,492
	2	0,823	0,850	0,884	1,000	1,033	1,074	1,209	1,245	1,292	1,312	1,347	1,393
	4	0,689	0,714	0,746	0,840	0,870	0,909	1,017	1,050	1,094	1,103	1,136	1,179
10	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,25	1,419	1,462	1,513	1,789	1,843	1,905	2,322	2,387	2,461	2,692	2,757	2,830
	0,5	1,223	1,261	1,307	1,533	1,581	1,638	1,974	2,032	2,100	2,273	2,331	2,399
	1	1,033	1,067	1,109	1,291	1,334	1,386	1,652	1,703	1,766	1,891	1,961	2,008
	1,5	0,931	0,962	1,002	1,162	1,202	1,252	1,483	1,532	1,592	1,694	1,767	1,806
	2	0,863	0,893	0,932	1,078	1,116	1,164	1,374	1,420	1,478	1,567	1,615	1,675
	4	0,719	0,746	0,781	0,899	0,933	0,978	1,145	1,187	1,241	1,303	1,347	1,403

Tabela A 14 Coeficiente z'_{eq} com B=0,5m da sapata retangular rígida

H/B	\tilde{b}	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,0625	0,539	0,551	0,564	0,611	0,623	0,638	0,674	0,685	0,698	0,699	0,709	0,721
	0,125	0,519	0,530	0,544	0,588	0,600	0,615	0,649	0,660	0,673	0,673	0,683	0,695
	0,25	0,487	0,499	0,512	0,553	0,565	0,579	0,610	0,621	0,634	0,633	0,643	0,656
	0,375	0,463	0,475	0,488	0,526	0,538	0,552	0,581	0,592	0,605	0,603	0,613	0,626
	0,5	0,444	0,455	0,469	0,505	0,517	0,531	0,557	0,568	0,582	0,579	0,589	0,602
	1	0,394	0,404	0,418	0,448	0,460	0,474	0,495	0,506	0,520	0,515	0,525	0,538
5	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,0625	0,797	0,816	0,838	0,961	0,984	1,010	1,169	1,193	1,221	1,275	1,297	1,322
	0,125	0,739	0,758	0,779	0,892	0,914	0,939	1,083	1,106	1,133	1,180	1,201	1,226
	0,25	0,665	0,682	0,703	0,802	0,822	0,847	0,971	0,993	1,020	1,056	1,077	1,102
	0,375	0,616	0,633	0,653	0,743	0,763	0,787	0,898	0,920	0,946	0,976	0,997	1,022
	0,5	0,581	0,597	0,617	0,700	0,719	0,743	0,845	0,867	0,893	0,919	0,939	0,964
	1	0,496	0,511	0,529	0,598	0,616	0,638	0,721	0,741	0,766	0,783	0,802	0,826
10	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,0625	0,954	0,978	1,005	1,192	1,221	1,256	1,547	1,584	1,625	1,791	1,828	1,869
	0,125	0,860	0,882	0,908	1,071	1,099	1,132	1,384	1,418	1,457	1,595	1,630	1,669
	0,25	0,752	0,773	0,797	0,934	0,960	0,990	1,199	1,231	1,267	1,375	1,407	1,445
	0,375	0,687	0,706	0,729	0,852	0,876	0,905	1,090	1,119	1,155	1,246	1,277	1,313
	0,5	0,641	0,660	0,682	0,795	0,818	0,846	1,014	1,043	1,077	1,158	1,187	1,222
	1	0,538	0,555	0,576	0,666	0,687	0,713	0,846	0,872	0,904	0,962	0,989	1,022

Tabela A 15 Coeficiente z'_{eq} com $B=1\text{m}$ da sapata retangular rígida

H/B	\tilde{b}	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,125	0,516	0,528	0,541	0,587	0,599	0,613	0,648	0,659	0,672	0,672	0,682	0,694
	0,25	0,485	0,496	0,510	0,552	0,563	0,578	0,609	0,620	0,633	0,632	0,642	0,655
	0,5	0,442	0,453	0,466	0,504	0,515	0,530	0,557	0,567	0,581	0,578	0,588	0,601
	0,75	0,413	0,424	0,437	0,471	0,482	0,497	0,521	0,532	0,545	0,541	0,551	0,564
	1	0,391	0,402	0,415	0,447	0,458	0,472	0,495	0,505	0,519	0,514	0,524	0,537
	2	0,339	0,349	0,362	0,388	0,399	0,413	0,430	0,441	0,454	0,447	0,457	0,470
5	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,125	0,735	0,753	0,775	0,889	0,910	0,936	1,081	1,104	1,131	1,178	1,199	1,224
	0,25	0,661	0,678	0,699	0,799	0,819	0,844	0,969	0,991	1,018	1,054	1,075	1,100
	0,5	0,577	0,593	0,613	0,697	0,717	0,740	0,843	0,865	0,891	0,917	0,937	0,962
	0,75	0,527	0,542	0,561	0,637	0,655	0,679	0,770	0,790	0,816	0,836	0,856	0,880
	1	0,492	0,507	0,526	0,595	0,613	0,636	0,719	0,739	0,764	0,781	0,800	0,824
	2	0,414	0,428	0,445	0,502	0,518	0,539	0,606	0,624	0,648	0,658	0,676	0,699
10	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,125	0,854	0,877	0,902	1,062	1,090	1,122	1,377	1,411	1,449	1,590	1,624	1,662
	0,25	0,747	0,767	0,791	0,927	0,952	0,982	1,194	1,225	1,261	1,371	1,403	1,439
	0,5	0,637	0,655	0,678	0,789	0,812	0,840	1,010	1,038	1,072	1,154	1,183	1,218
	0,75	0,575	0,593	0,614	0,712	0,734	0,761	0,909	0,936	0,968	1,037	1,064	1,097
	1	0,534	0,551	0,571	0,661	0,682	0,708	0,842	0,868	0,899	0,959	0,986	1,018
	2	0,444	0,459	0,478	0,550	0,569	0,593	0,699	0,722	0,751	0,794	0,818	0,849

Tabela A 16 Coeficiente z'_{eq} com B=2m da sapata retangular rígida

H/B	\tilde{b}	L/B=1			L/B=2			L/B=5			L/B=10		
		$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$	$\nu=0,2$	$\nu=0,25$	$\nu=0,3$
2	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,25	0,484	0,495	0,508	0,551	0,563	0,577	0,609	0,620	0,633	0,631	0,641	0,654
	0,5	0,441	0,452	0,465	0,503	0,515	0,529	0,556	0,567	0,580	0,577	0,587	0,600
	1	0,390	0,401	0,414	0,446	0,458	0,472	0,494	0,505	0,518	0,513	0,523	0,536
	1,5	0,360	0,370	0,383	0,412	0,423	0,437	0,456	0,467	0,480	0,474	0,484	0,496
	2	0,338	0,348	0,361	0,387	0,398	0,412	0,430	0,440	0,453	0,446	0,456	0,469
	4	0,288	0,298	0,310	0,332	0,342	0,355	0,369	0,379	0,392	0,383	0,393	0,405
5	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,25	0,655	0,672	0,692	0,795	0,816	0,840	0,966	0,988	1,014	1,052	1,073	1,096
	0,5	0,572	0,588	0,608	0,694	0,714	0,737	0,841	0,862	0,887	0,915	0,935	0,958
	1	0,489	0,504	0,522	0,593	0,611	0,633	0,717	0,737	0,761	0,779	0,798	0,821
	1,5	0,442	0,456	0,474	0,537	0,554	0,575	0,650	0,668	0,692	0,705	0,723	0,746
	2	0,411	0,425	0,442	0,500	0,516	0,537	0,605	0,623	0,646	0,656	0,674	0,696
	4	0,344	0,357	0,373	0,420	0,435	0,454	0,508	0,525	0,547	0,551	0,568	0,590
10	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,25	0,710	0,731	0,757	0,894	0,921	0,952	1,161	1,193	1,230	1,346	1,379	1,415
	0,5	0,611	0,631	0,654	0,767	0,791	0,819	0,987	1,016	1,050	1,136	1,166	1,200
	1	0,516	0,534	0,555	0,645	0,667	0,693	0,826	0,852	0,883	0,946	0,981	1,004
	1,5	0,465	0,481	0,501	0,581	0,601	0,626	0,741	0,766	0,796	0,847	0,884	0,903
	2	0,431	0,447	0,466	0,539	0,558	0,582	0,687	0,710	0,739	0,784	0,808	0,837
	4	0,359	0,373	0,391	0,449	0,467	0,489	0,572	0,593	0,620	0,652	0,673	0,701

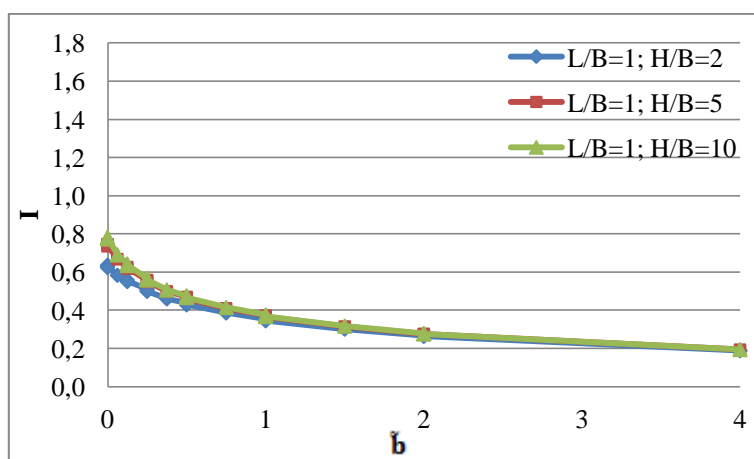


Figura A 5 I vs \tilde{b} com L/B=1 e $v=0,25$ da sapata retangular rígida

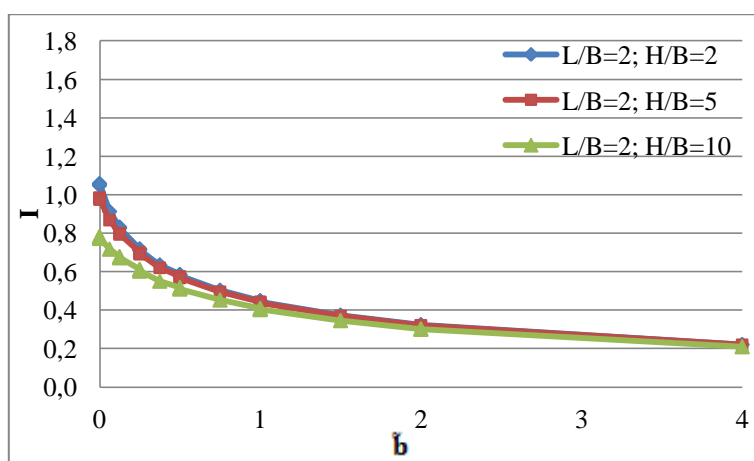


Figura A 6 I vs \tilde{b} com L/B=2 e $v=0,25$ da sapata retangular rígida

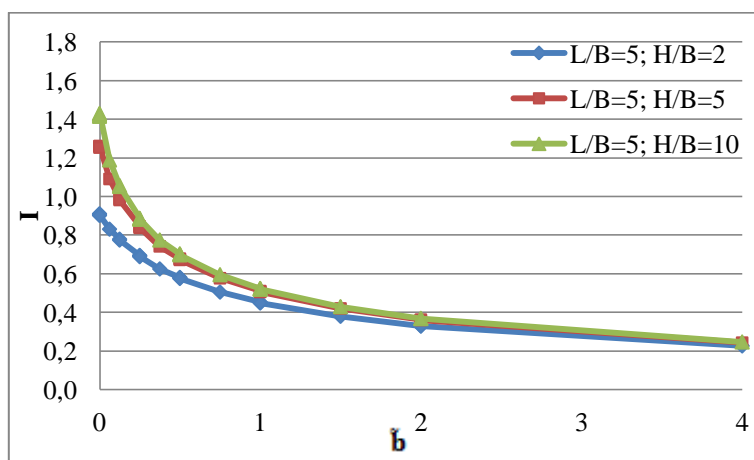


Figura A 7 I vs \tilde{b} com L/B=5 e $v=0,25$ da sapata retangular rígida

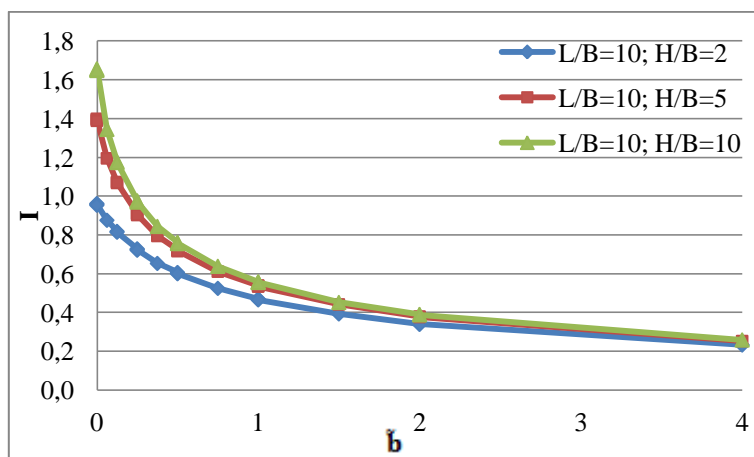


Figura A 8 I vs \tilde{b} com $L/B=10$ e $\nu=0,25$ da sapata retangular rígida

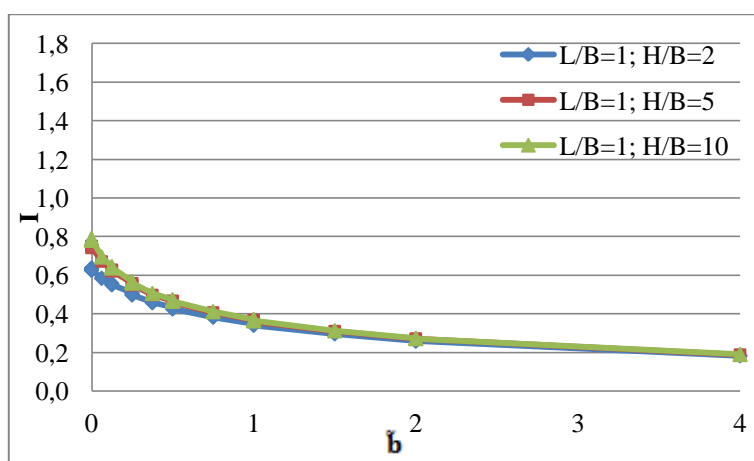


Figura A 9 I vs \tilde{b} com $L/B=1$ e $\nu=0,3$ da sapata retangular rígida

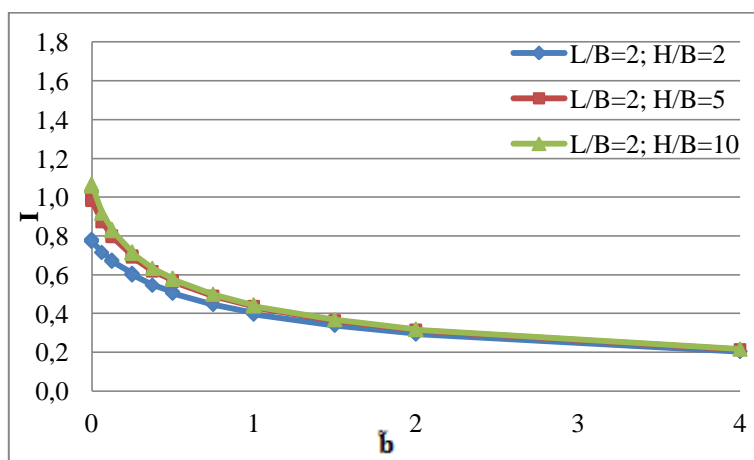


Figura A 10 I vs \tilde{b} com $L/B=2$ e $\nu=0,3$ da sapata retangular rígida

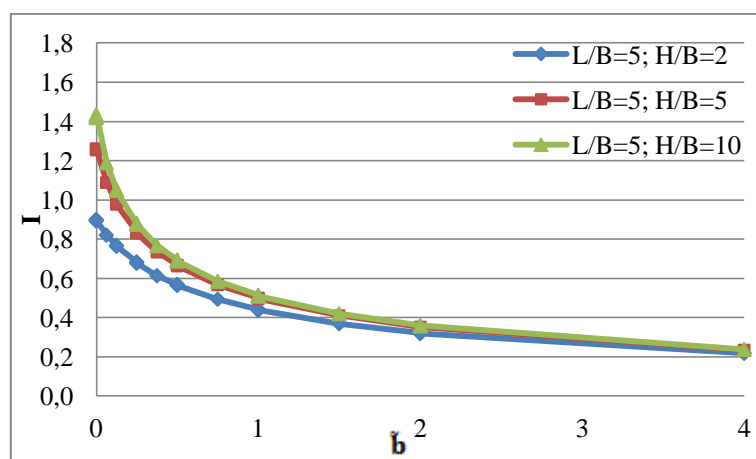


Figura A 11 I vs \tilde{b} com $L/B=5$ e $\nu=0,3$ da sapata retangular rígida

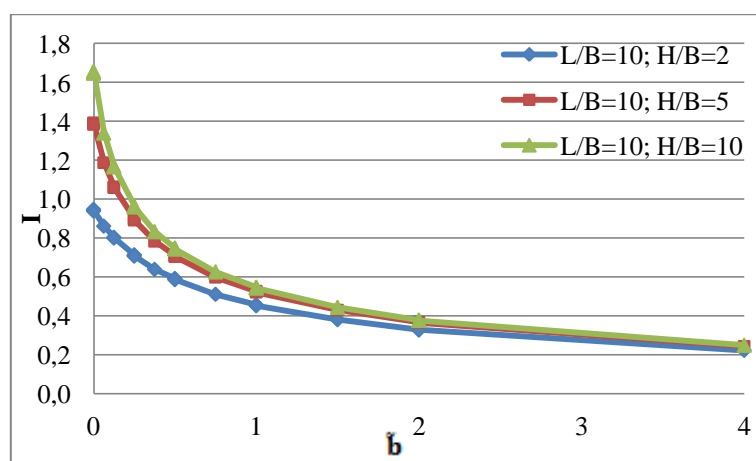


Figura A 12 I vs \tilde{b} com $L/B=10$ e $\nu=0,3$ da sapata retangular rígida

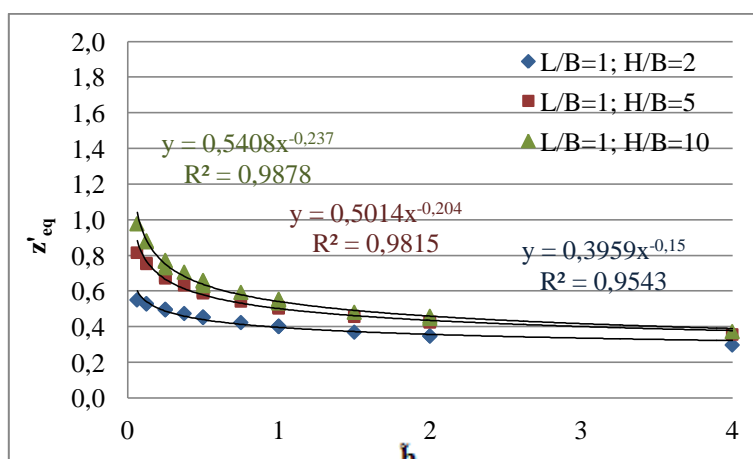


Figura A 13 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $L/B=1$ e $\nu=0,25$ da sapata retangular rígida

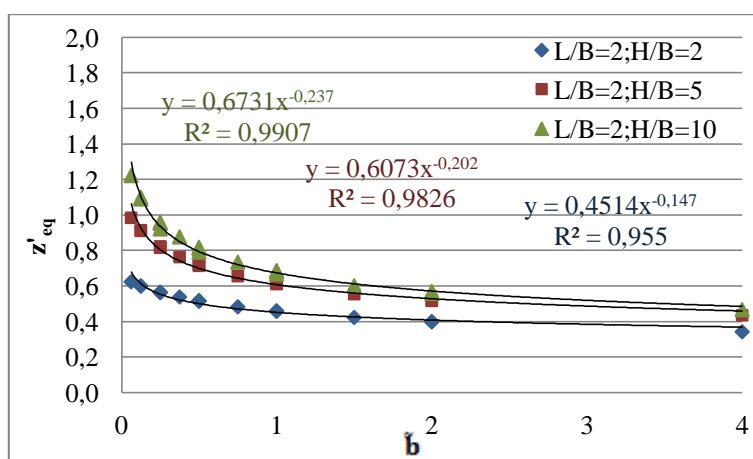


Figura A 14 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $L/B=2$ e $\nu=0,25$ da sapata retangular rígida

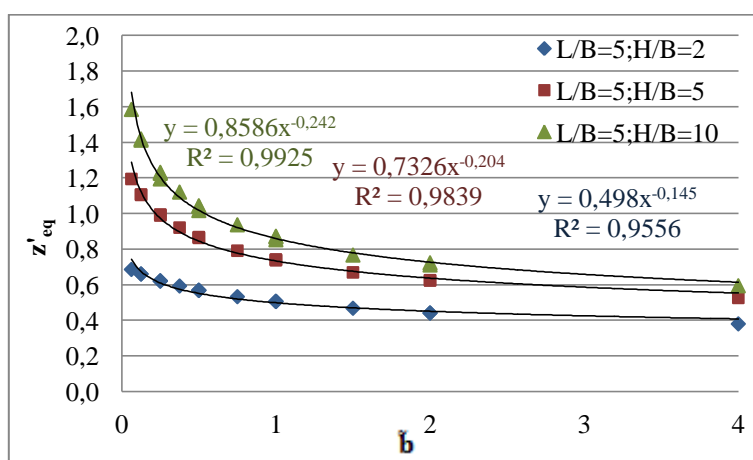


Figura A 15 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $L/B=5$ e $\nu=0,25$ da sapata retangular rígida

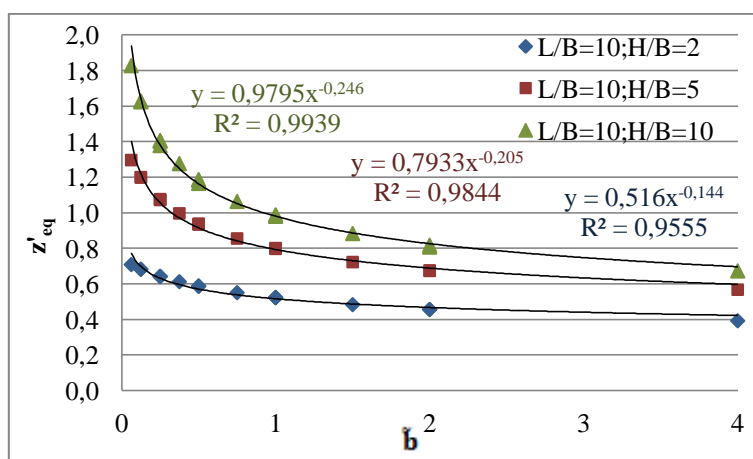


Figura A 16 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $L/B=10$ e $v=0,25$ da sapata retangular rígida

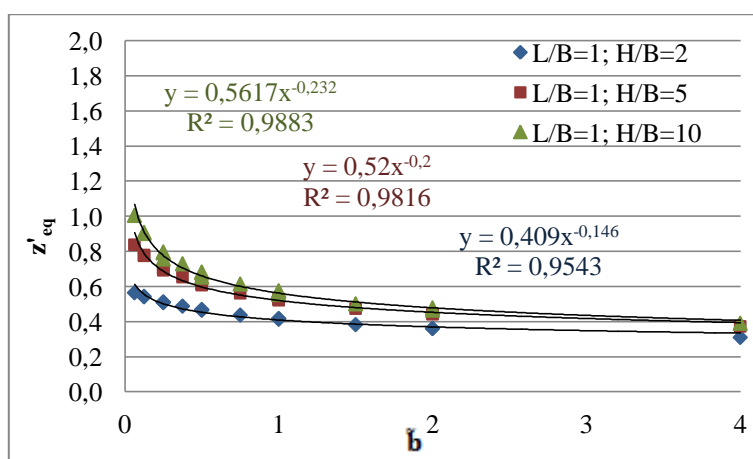


Figura A 17 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $L/B=1$ e $v=0,3$ da sapata retangular rígida

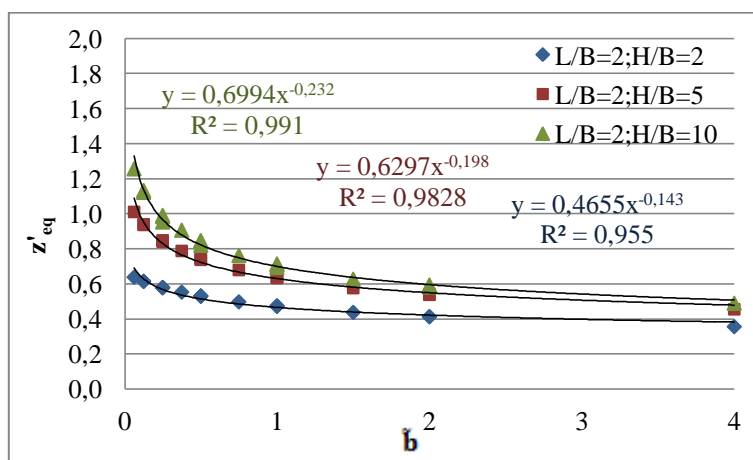


Figura A 18 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $L/B=2$ e $v=0,3$ da sapata retangular rígida

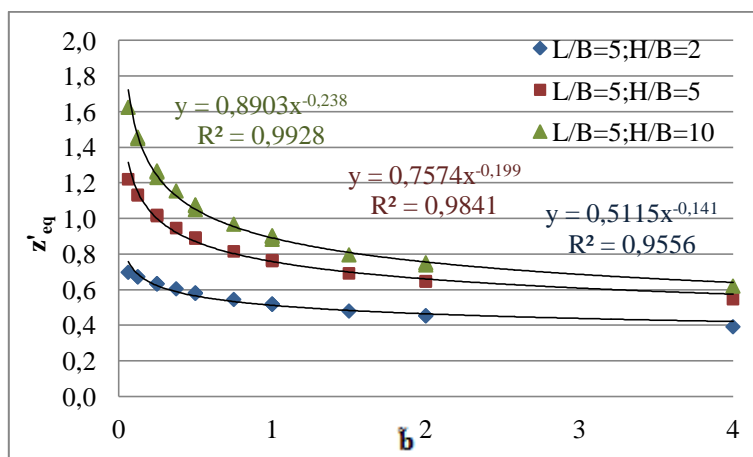


Figura A 19 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $L/B=5$ e $\nu=0,3$ da sapata retangular rígida

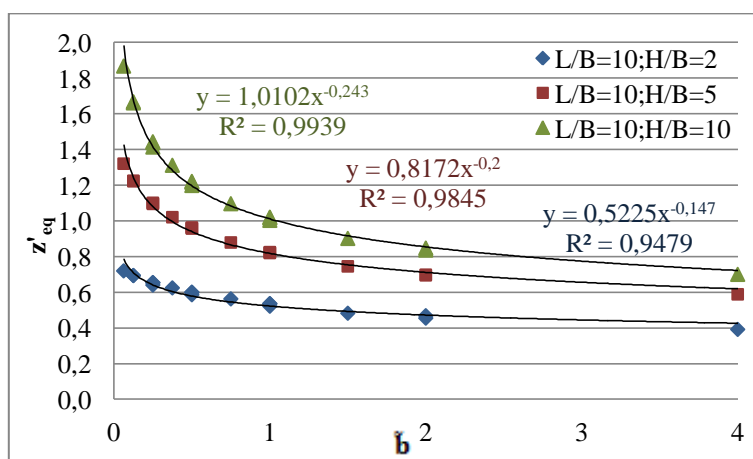


Figura A 20 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $L/B=10$ e $\nu=0,3$ da sapata retangular rígida

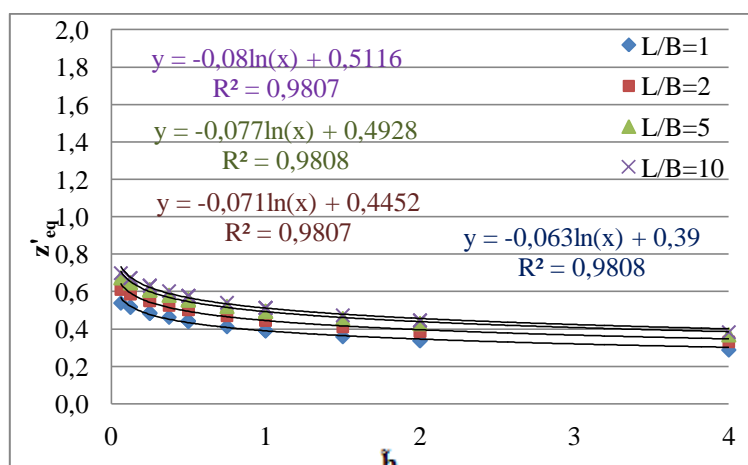


Figura A 21 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $H/B=2$ e $\nu=0,2$ da sapata retangular rígida

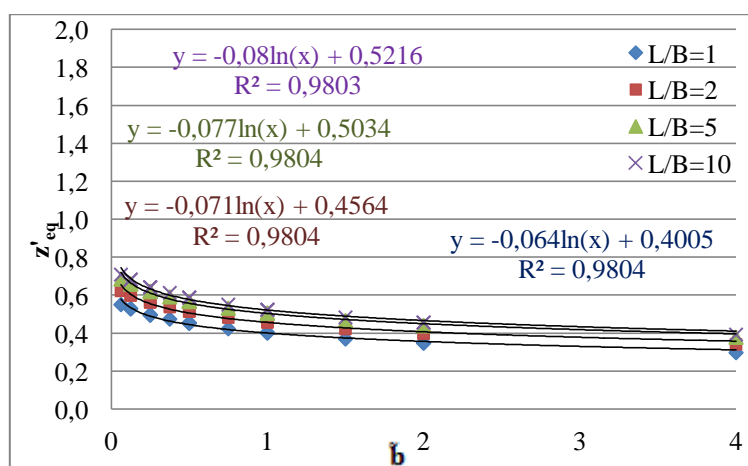


Figura A 22 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $H/B=2$ e $\nu=0,25$ da sapata retangular rígida

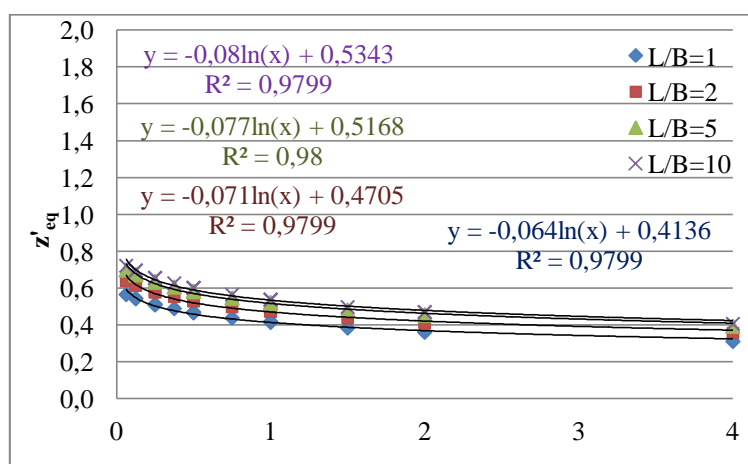


Figura A 23 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $H/B=2$ e $\nu=0,3$ da sapata retangular rígida

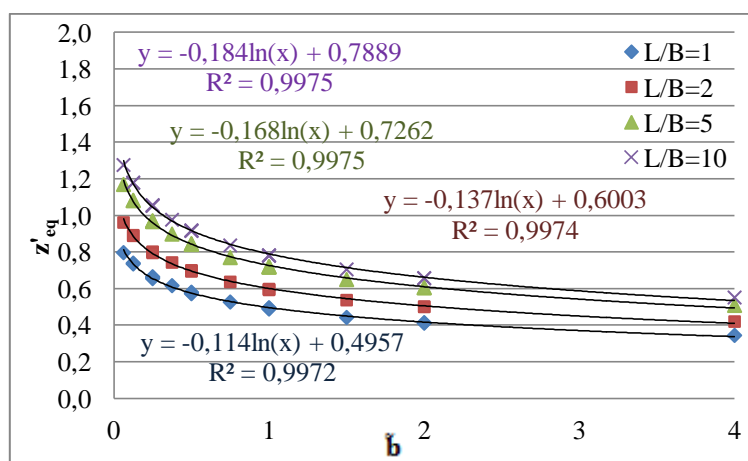


Figura A 24 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $H/B=5$ e $\nu=0,2$ da sapata retangular rígida

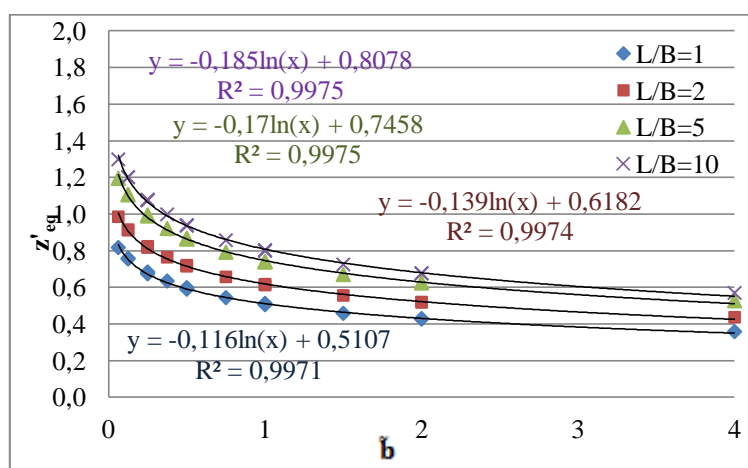


Figura A 25 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $H/B=5$ e $\nu=0,25$ da sapata retangular rígida

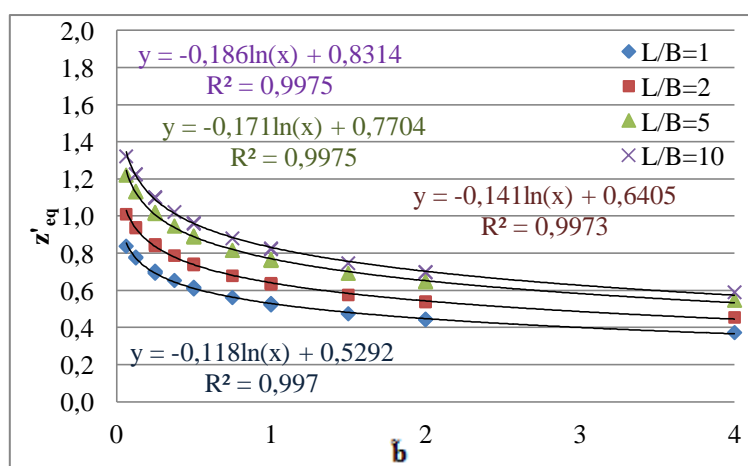


Figura A 26 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $H/B=5$ e $\nu=0,3$ da sapata retangular rígida

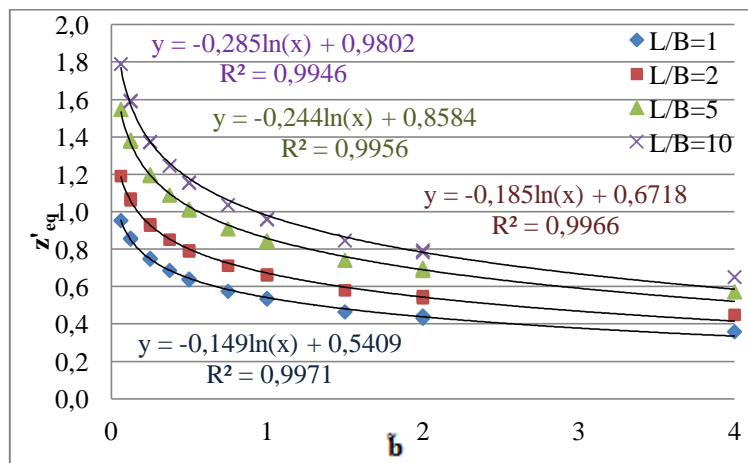


Figura A 27 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $H/B=10$ e $\nu=0,2$ da sapata retangular rígida

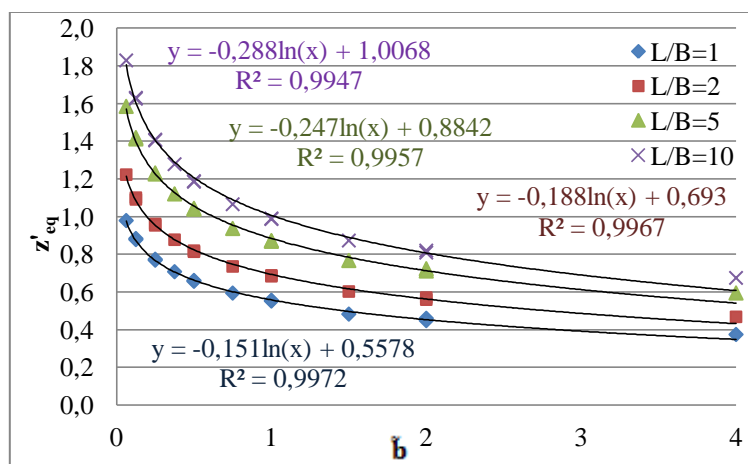


Figura A 28 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $H/B=10$ e $\nu=0,25$ da sapata retangular rígida

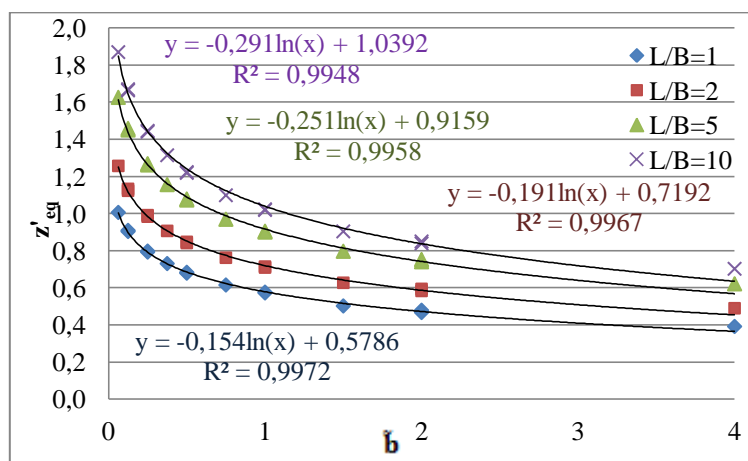


Figura A 29 Coeficiente z'_{eq} vs \tilde{b} com $H/B=10$ e $\nu=0,3$ da sapata retangular rígida

